

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Inteligentní veřejné osvětlení
Intelligent Public Lighting

2019

Bc. Denis Roman

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Denis Roman**
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907T001 Elektroenergetika**
Téma: **Inteligentní veřejné osvětlení
Intelligent Public Lighting**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

- Popis osvětlovacích soustav používaných ve veřejném osvětlení
- Parametry veřejného osvětlení, normy veřejného osvětlení
- Stmívání osvětlovacích soustav veřejného osvětlení
- Inteligentní (SMART) veřejné osvětlení, popis polygonu VŠB
- Návrh osvětlovací soustavy veřejného osvětlení vybavené SMART prvky
- Vybraná měření v navržené osvětlovací soustavě

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)
- [5] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

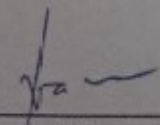
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: **01.09.2018**

Datum odevzdání: **30.04.2019**


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som tuto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 24. apríla 2019

Reman
.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval prof. Ing. Karel Sokanský, CSc. za odbornú pomoc, konzultáciu, materiály a pripomienky pri vytváraní tejto diplomovej práce. Potom by som rád poďakoval Ing. Lukáš Šoustek a Ing. Jan Baroš za vysvetlenie práci s reguláciou a odpovede na moje dotazy. Nakoniec by som rád poďakoval Mgr. Martina Hesková za kontrolu gramatiky.

Abstrakt

Tato diplomová práce sa v teoretickej časti zaoberá popisom VO. Sú tu popísané súčasti osvetľovacej sústavy pre VO, jej parametre, normy a stmievanie. Ďalej popisujem inteligentné VO, ktoré pomocou inteligentných prvkov umožňuje efektívnejšie a komfortnejšie ovládanie VO. Praktickou a hlavnou časťou je popis polygónu VŠB, ktorým je parkovisko nachádzajúce sa za Fakultou elektrotechniky a informatiky VŠB-TUO. Budú popísané prvky ktoré tento polygón obsahuje a navrhnuté možnosti regulácie. Potom bude tento návrh zhodnotený a porovnaný na základe nameraných dát s laboratória EB 418, kde sa nachádza centrálné ovládanie polygónu.

Kľúčové slova

Verejné osvetlenie, svetelné zdroje, svietidlá, stožiare, normy VO, stmievanie, regulácia, inteligentné VO, inteligentné prvky

Abstract

This diploma thesis deals in the theoretical part with a description of street lighting. There are described components of lighting system for SL, its parameters, standards and dimming. Next is described smart SL, which help of smart elements enables more efficient and comfortable control of SL. The practical and main part is the description of the VŠB polygon, which is a parking lot located behind the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of VŠB-TUO. Described the elements that this polygon contains and the suggested options for regulation. Then this design will be evaluated and compared on the basis of measured data in the laboratory EB 418, where the central control of the polygon is located.

Key words

Street lighting, light sources, luminaires, masts, SL standards, dimming, control, smart SL, smart elements

Obsah

Úvod.....	- 13 -
1 Popis osvetľovacích sústav používaných vo VO	- 14 -
1.1 Svetelné zdroje.....	- 14 -
1.1.1 Kompaktné žiarivky	- 15 -
1.1.2 Ortuťové vysokotlakové výbojky	- 15 -
1.1.3 Sodíkové výbojky.....	- 16 -
1.1.4 Halogénové výbojky.....	- 17 -
1.1.5 LED diódy.....	- 17 -
1.1.6 Reflektory	- 20 -
1.1.7 Krytie.....	- 22 -
1.1.8 Predradníky.....	- 22 -
1.1.9 Základné vlastnosti svietidla	- 22 -
1.2 Stožiare.....	- 24 -
1.3 Prípojky, rozvádzače a káble	- 27 -
2 Parametre VO a normy VO	- 29 -
2.1 Sledované parametre VO.....	- 29 -
2.2 Normy VO	- 30 -
3 Stmievanie VO.....	- 34 -
3.1 Vysokonapäťové metódy stmievania	- 34 -
3.1.1 Fázové stmievanie	- 34 -
3.1.2 Amplitúdové stmievanie	- 35 -
3.2 Nízkonapäťové metódy stmievania.....	- 35 -
3.2.1 0-10 V stmievanie	- 35 -
3.2.2 Pulzná šírková modulácia	- 35 -
3.2.3 DALI.....	- 36 -
3.3 Stmievanie vysokotlakových sodíkových výbojok a LED.....	- 36 -
3.4 Riadenie VO	- 37 -
4 Inteligentné VO a popis polygónu VŠB	- 38 -
4.1 Inteligentné VO.....	- 38 -

4.2	Popis polygónu VŠB	- 42 -
5	Návrh osvetľovacej sústavy VO vybavené SMART prvkami	- 44 -
5.1	Popis prvkov	- 44 -
5.1.1	PC a server	- 44 -
5.1.2	MQTT protokol.....	- 45 -
5.1.3	NI cDAQ 9185	- 47 -
5.1.4	NI 9205	- 47 -
5.1.5	Prúdové prevodníky CVC-25/12.5	- 48 -
5.1.6	Napäťový prevodník VVC-600/300	- 48 -
5.1.7	Rozvádzače na stožiaroch	- 49 -
5.1.8	Meteostanice GIOM 3000.....	- 51 -
5.1.9	Kamery	- 51 -
5.2	Výpočet regulácie na polygóne VŠB	- 52 -
6	Vybrané merania v navrhnutej osvetľovacej sústave	- 56 -
6.1	Namerané osvetlenie	- 56 -
6.2	Nameraná regulácia	- 58 -
	Záver	- 65 -
	Použitá literatúra	- 67 -

Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
AECI	$(Wh. m^{-2})$	Ročná spotreba
E	(lx)	Osvetlenie
E_v	(lx)	Vertikálne osvetlenie
E_{sc}	(lx)	Pologuľové osvetlenie
f	(Hz)	Frekvencia
I	(A)	Elektrický prúd
Ik	(-)	Stupeň mechanickej odolnosti
Ip	(-)	Stupeň krytia
L	$(cd. m^{-2})$	Jas
P	(W)	Elektrický príkon činný
PDI	$(W. lx. m^{-2})$	Ukazateľ hustoty príkonu
Q	(var)	Elektrický príkon jalový
Ra	(-)	Index podania farieb
S	(VA)	Elektrický príkon zdanlivý
t	(h)	Doba životnosti
Tc	(K)	Teplota chromatičnosti
THD	(%)	Harmonické skreslenie
U	(V)	Elektrické napätie
U_0	(-)	Celková rovnomernosť
U_l	(-)	Pozdĺžna rovnomernosť
η	$(lm. W^{-1})$	Merný výkon
cos φ	(-)	Power factor (účinník)

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Význam
ČSN	Československá štátna norma
IoT	Internet vecí
LED	Elektroluminiscenčná dióda
VO	Verejné osvetlenie

Zoznam použitých obrázkov

<i>Obr. 1 Rozdelenie svetelných zdrojov</i>	- 14 -
<i>Obr. 2 Kompaktná žiarivka</i>	- 15 -
<i>Obr. 3 Ortuťová vysokotlaková výbojka</i>	- 16 -
<i>Obr. 4 Sodíková nízkotlaková výbojka</i>	- 16 -
<i>Obr. 5 Sodíková vysokotlaková výbojka</i>	- 16 -
<i>Obr. 6 Halogénová výbojka</i>	- 17 -
<i>Obr. 7 Vysokovýkonová LED</i>	- 17 -
<i>Obr. 8 Porovnanie osvetlenia pre vysokotlakové sodíkové výbojky a LED</i>	- 19 -
<i>Obr. 9 Svetidlo</i>	- 20 -
<i>Obr. 10 Fasetový reflektor a nastavenie posunu (používa iný posuv pre rôzne oblasti)</i>	- 20 -
<i>Obr. 11 Z ľavej strany ploché sklo (účinnosť 76%), mierne vypuklé sklo (78%), vypuklé sklo (80%), refraktor s Fresnelovou šošovkou (82%)</i>	- 21 -
<i>Obr. 12 Funkcia membrány</i>	- 21 -
<i>Obr. 13 Krivka svietivosti</i>	- 23 -
<i>Obr. 14 Popis stožiaru</i>	- 24 -
<i>Obr. 15 Rozloženie osvetľovacích stožiarov a) jednostranné rozloženie; b) striedavé rozloženie; c) striedavé obojstranné rozloženie; d) symetrické stredné rozloženie; e) závesné rozloženie</i>	- 25 -
<i>Obr. 16 Krivky svietivosti</i>	- 26 -
<i>Obr. 17 RVO rozvádzač verejného osvetlenia</i>	- 27 -
<i>Obr. 18 Teplota chromatičnosti</i>	- 30 -
<i>Obr. 19 Znáznornenie vozovky a výpočtových bodov</i>	- 32 -
<i>Obr. 20 Predné fázové ovládanie</i>	- 34 -
<i>Obr. 21 Spätné fázové ovládanie</i>	- 34 -
<i>Obr. 22 Amplitúdové ovládanie</i>	- 35 -
<i>Obr. 23 I-10 V stmievač</i>	- 35 -
<i>Obr. 24 Schéma vysokotlakové sodíkové výbojky s tlmivkou</i>	- 36 -
<i>Obr. 25 Schéma LED s driverom</i>	- 36 -
<i>Obr. 26 Naznačený vnútorný šok driveru</i>	- 37 -
<i>Obr. 27 Inteligentné VO systém</i>	- 38 -
<i>Obr. 28 Inteligentný stožiar VO a jeho zariadenia</i>	- 40 -
<i>Obr. 29 Znáznornenie spotreby energie pre LED osvetlenie bez inteligentného ovládania (vľavo) a LED s inteligentným ovládaním (vpravo)</i>	- 41 -
<i>Obr. 30 Polygón VŠB so svetidlami L2Led (žlté), Schreder Teceo (zelené), Thorn R2L2 (modré) a Boss Naica (červené)</i>	- 42 -
<i>Obr. 31 Vľavo L2Led a vpravo Boss Naica</i>	- 43 -
<i>Obr. 32 Vľavo Thorn R2L2 a vpravo Schreder Teceo</i>	- 43 -
<i>Obr. 33 PC na ovládanie osvetlenia polygónu VŠB</i>	- 44 -
<i>Obr. 34 Ukážka okna pre reguláciu osvetlenia polygónu</i>	- 44 -

<i>Obr. 35 Jednoduchá schéma publish a subscribe.....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Obr. 36 Zložitejšia schéma publish a subscribe</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Obr. 37 Úrovne potvrdenia správ QoS</i>	<i>- 46 -</i>
<i>Obr. 38 NI cDAQ 9185</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Obr. 39 NI cDAQ NI 9205.....</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Obr. 40 CVC-25/12.5.....</i>	<i>- 48 -</i>
<i>Obr. 41 CVC-25/12.5.....</i>	<i>- 48 -</i>
<i>Obr. 42 DALIpwr.....</i>	<i>- 49 -</i>
<i>Obr. 43 DALInet.....</i>	<i>- 49 -</i>
<i>Obr. 44 Mikrotic 962UiGS.....</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Obr. 45 EDR-120-24V MeanWell.....</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Obr. 46 Zapojenie uvedených zariadení v rozvádzači</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Obr. 47 Kalibračná krivka a meteostanice GIOM 3000</i>	<i>- 51 -</i>
<i>Obr. 48 Zorné krivky kamier</i>	<i>- 51 -</i>
<i>Obr. 49 Merané plochy polygónu VŠB</i>	<i>- 52 -</i>
<i>Obr. 50 Graf zmeny výkonu pri stmievaní.....</i>	<i>- 59 -</i>
<i>Obr. 51 Príklady harmonického skreslenia.....</i>	<i>- 61 -</i>
<i>Obr. 52 Amplitúdové priblíženie U a I pri 70% výkone.....</i>	<i>- 61 -</i>
<i>Obr. 53 Harmonické priblíženie U a I pri 70% výkone</i>	<i>- 62 -</i>
<i>Obr. 54 Vľavo harmonické spektrum napätia a vpravo harmonické spektrum prúdu</i>	<i>- 63 -</i>
<i>Obr. 55 Grafy amplitúd.....</i>	<i>- 64 -</i>

Zoznam použitých tabuliek

Tab. 1 Prehľad parametrov pre svetelné zdroje používané vo VO	- 15 -
Tab. 2 Zhodnotenie a porovnanie LED s vysokotlakovými sodíkovými výbojkami	- 18 -
Tab. 3 Tabuľka možných veľkostí stožiarov a ich použitia	- 25 -
Tab. 4 Uloženie zemných káblov pre VO	- 28 -
Tab. 5 Triedy osvetlenia M.....	- 31 -
Tab. 6 Triedy osvetlenia C	- 31 -
Tab. 7 Triedy osvetlenia P.....	- 31 -
Tab. 8 triedy osvetlenia HS.....	- 32 -
Tab. 9 Parametre použitých svietidiel na testovacom polygóne VŠB	- 43 -
Tab. 10 Súčasný počet svietidiel a ich príkon.....	- 52 -
Tab. 11 Možnosti regulácie pre jeden úsek podľa triedy osvetlenia.....	- 52 -
Tab. 12 Možnosť regulácie podľa úseku Boss	- 53 -
Tab. 13 Možnosť regulácie podľa úseku Boss s príspevkom Thorn.....	- 53 -
Tab. 14 Možnosť regulácie podľa jednotlivých úsekov a poklesu príspevku.....	- 54 -
Tab. 15 Celkový príkon podľa danej regulácie	- 54 -
Tab. 16 Celkový rozdiel príkonu oproti neregulovanej hodnote vo W.....	- 55 -
Tab. 17 Celkový rozdiel príkonu oproti neregulovanej hodnote v %.....	- 55 -
Tab. 18 Osvetlenie pre úsek Boss	- 56 -
Tab. 19 Osvetlenie pre úsek Boss s korekčným činiteľom.....	- 56 -
Tab. 20 Osvetlenie pre úsek Schreder.....	- 56 -
Tab. 21 Osvetlenie pre úsek Schreder s korekčným činiteľom	- 57 -
Tab. 22 Osvetlenie pre úsek Thorn	- 57 -
Tab. 23 Osvetlenie pre úsek Thorn s korekčným činiteľom.....	- 57 -
Tab. 24 Hodnoty údajov uvedených veličín pri regulácii výkonu.....	- 58 -
Tab. 25 Hodnoty údajov uvedených veličín pri regulácii výkonu.....	- 59 -
Tab. 26 Hodnoty údajov uvedených veličín pri regulácii výkonu.....	- 60 -

Úvod

Vo VO boli najviac používanými zdrojmi vysokotlakové sodíkové výbojky. Hlavný dôvod bol ich veľký merný výkon a doba životnosti. S vývojom LED sa ale začínajú postupne vysokotlakové sodíkové výbojky nahrádzať. LED sú ešte v terajšej dobe vo vývoji, ale už v každom parametre majú väčšie hodnoty ako vysokotlakové sodíkové výbojky a tým majú väčšiu úsporu. Toto porovnanie je popísané v prvom bode tejto diplomovej práce, v druhej kapitole sú popísané parametre a normy súvisiace s VO.

S náhradou LED dochádza aj k zmene riadenia, ktoré sú popísané v tretej kapitole. Hlavnou výhodou je ale inteligentné VO, kde LED umožňujú riadenie cez kamery alebo senzory. Pomocou týchto prvkov je možné zaznamenávať pohyb a riadiť sústavu podľa hustoty prevádzky. K tomuto prenosu dát je potrebný ethernet, ktorý umožňuje prenos dát oboma smermi a tým okamžitú zmenu osvetlenia. LED ďalej aj umožňujú prenos pomocou Li-Fi a teda prenos pomocou svetelného lúča. Celá sústava inteligentného VO, jej rozdiely a výhody sú popísané v kapitole 4.

Niektoré inteligentné prvky obsahuje aj testovací polygón VŠB, ktorým je parkovisko za Fakultou elektrotechniky a informatiky VŠB-TUO. V praktickej časti bude navrhnutá možnosť regulácie pre celé parkovisko. Pri prvej variante je celý polygón nastavený na jednu hladinu výkonu, polygón ale obsahuje štyri rôzne svietidla a teda štyri rôzne parametre. Kvôli tomuto dôvodu, druhým návrhom bude nastavenie regulácie výkonu podľa jednotlivých úsekov. Potom boli navzájom tieto dva úseky zhodnotené podľa veľkosti úspor. V oboch prípadoch ale nedochádza k regulácii pomocou kamier a iba v tomto prípade by sme mohli hovoriť že ide o inteligentné riadenie, takisto by v tomto prípade došlo k väčšej úspore.

V ďalšej praktickej časti bolo prevedené meranie regulácie daného polygónu VŠB. K regulácii dochádzalo postupnou zmenou výkonu, podľa niektorých výkonových hladín a hodnoty boli potom zaznamenané. Následne boli dané hodnoty s merania popísané a porovnané s vypočítanými variantami.

1 Popis osvetľovacích sústav používaných vo VO

Verejné osvetlenie (VO) nám osvetľuje verejné komunikácie, priestranstvá, osvetlenie významných objektov, slávnostné osvetlenie a pod. v mestách, obciach a mimo nich. VO patrí medzi neplatenú službu a slúži nám na bezpečnosť jazdy, chodcov a majetku, zlepšenie orientácie a atraktivnosť miest a pamiatok. Je dokázané že dobre navrhnuté osvetlenie znižuje nehodovosť na cestách a kriminality v danej oblasti. [1][2]

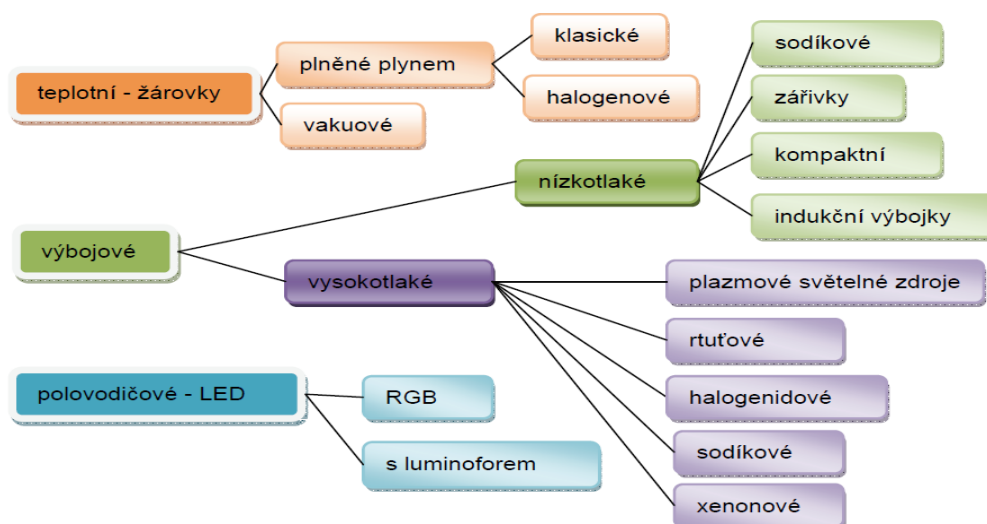
Osvetľovacia sústava je tvorená prvkami [3]:

- Svetelné zdroje
- Svietidlá
- Stožiare
- Rozvádzače a káble

1.1 Svetelné zdroje

Sú zdroje premieňajúce elektrickú energiu na svetelnú a ide o hlavnú časť svetelnej sústavy. Pri voľbe zdroja je potrebné poznať ich jednotlivé parametre a účel použitia, aby sme navrhli čo najkvalitnejšiu a hospodárnu sústavu. [3]

Svetelné zdroje môžeme rozdeliť do troch skupín a to teplotné, výbojové a svetelné diódy. Teplotné svetelné zdroje fungujú na prechode elektrického prúdu vodivou látkou, ktorá sa ohrieva na vysokú teplotu a vysiela vplyvom teplotného pohybu optické žiarenie. Výbojové svetelné zdroje fungujú pri vznikaní elektrického výboju v plynoch a parách rôznych kovov. Využívajú premenu elektrickej energie na kinetickú, ktoré sa pri zrážkach s atómy plynu menia na optické žiarenie. Svetelné diódy vyžarujú energiu v podobe fotónu pri samovoľnom návrate elektrónmi vybudeneho stavu do základného energetického stavu. [1]



Obr. 1 Rozdelenie svetelných zdrojov [1]

Pri VO sú používané svetelné zdroje s tab. 1:

Tab. 1 Prehľad parametrov pre svetelné zdroje používané vo VO [3]

Typ	Merný výkon ($lm \cdot W^{-1}$)	Index podania farieb Ra (-)	Doba životnosti na L=80% (h)	Teplota chromatičnosti (K)
Kompaktné žiarivky	65-95	80-100	20000	2700-6500
Ortuťové vysokotlakové výbojky	50-80	50	20000	3500-4200
Sodíkové vysokotlakové výbojky	70-115	25	24000	2000
Halogénové výbojky	70-100	80	20000	3000-4000
LED	100-170	70-80	100000	2600-8500

1.1.1 Kompaktné žiarivky

Kompaktné žiarivky sa skladajú z trubice naplnenej parami ortute a elektronickým predradníkom kvôli obmedzeniu prúdu v žiarivke a stabilizácii. Elektrický prúd tečie z predradníka a prechádza trubicou, ktorá je naplnená ortuťovými parami a argónom. Po priechode prúdu ortuťovou parou, začne vyžarovať ultrafialové žiarenie a pomocou luminoforu nanesenom na vnútornej strane trubice začne vyžarovať viditeľné svetlo. Stmievať kompaktné žiarivky je možné iba tie, ktoré majú reguláciu, u obyčajných to nejde. Pri chladných podmienkach sú špeciálne kompaktné žiarivky, ktoré sa používajú na prevádzku až pri teplotách do $-30^{\circ}C$. Kvôli závislosti svetelného toku na teplote a veľkých rozmeroch ich svietiacich častí limitujúcich možnosť usmernenia svetelného toku sa používajú na osvetlenie menej dôležitých komunikácií. [5] [12]



Obr. 2 Kompaktná žiarivka [1]

1.1.2 Ortuťové vysokotlakové výbojky

Ortuťové vysokotlakové výbojky majú hlavnú časť svetla vznikajúcu v banke v ortuťovom výboji pri parciálnom tlaku prevyšujúcom 100 kPa. Tato definícia sa vzťahuje na výbojky s čírou vonkajšou bankou i s bankou pokrytou luminoforom, v ktorých časť svetla

vzniká vo výboji a časť pomocou luminoforu pri ultrafialovom žiarení. Prechodom napätia na výbojku vznikne výboj medzi pomocnou a najbližšou hlavnou elektródou. Pomocou horáku, ktorý je umiestnený v banke a obsahuje rezistor, je výboj stabilizovaný. Pomocný výboj spôsobuje predbežnú ionizáciu výbojového priestoru a uľahčuje rozvinutý výboj medzi hlavnými elektródami. Týmto spôsobom nie je potrebné mať iné zapal'ovacie zariadenie a zapáli sa pri sieťovom napätí. Horák okrem stabilizácie výboja (stabilita teplotná a prúdová) pohlcuje aj nadbytočné ultrafialové žiarenie a funguje ako plocha k nanieseniu luminoforu. Používajú sa na osvetlenie peších zón, záhrad, parkov, nákupných pasáží, interiérov a vedľajších komunikácií. [6] [12]



Obr. 3 Ortuťová vysokotlaková výbojka [1]

1.1.3 Sodíkové výbojky

Sodíkové nízkotlakové výbojky majú výbojku väčšinou v tvare U a okrem sodíka obsahujú aj neón a argón. Po zapnutí dochádza k zvyšovaniu teploty a vyparovaniu sodíka, prúd prechádzajúci týmito parami nám vytvára svetlo. Svetlo vzniká v parách sodíka pri parciálnom tlaku od 0,1 do 1,5 Pa. Výbojky majú vysokú účinnosť, ale kvôli monochromatickému svetlu a nákladnej prevádzke sa u nás už nepoužívajú. [10] [12]



Obr. 4 Sodíková nízkotlaková výbojka [1]

Sodíkové vysokotlakové výbojky majú podobný princíp, ale svetlo vzniká ešte aj v parách ortute a xenónu, pri parciálnom tlaku od 3 do 60 kPa. Najčastejšie používané zdroje pri verejnom osvetlení, okrem toho aj pri osvetlení tunelov, letísk a nádraží. [11] [12]



Obr. 5 Sodíková vysokotlaková výbojka [1]

1.1.4 Halogénové výbojky

Halogénové výbojky majú vnútorné zariadenie (horák) na zapáľovanie výboja, ktoré zaistí vysokonapäťový impulz 1,8 kV až 5 kV. Výboj najskôr vzniká v parách ortute a interného plynu, s postupným nárastom teploty sa zvyšuje koncentrácia halogenidu vo výboji. Teplota sa ustáli po 5 až 10 min. a v okolí horáku sa začne vplyvom vysokej teploty štepíť na atómy halogénu a atómy príslušného kovu, ktoré sa vybudia a žiaria. Zároveň sa vytvorí gradient koncentrácie týchto atómov v radiálnom smere, ktoré prestupujú späť k stenám horáku s nižšou teplotou, kde sa opäť zlučujú na pôvodnú zlúčeninu. Kvôli tomuto cyklu dosahujú dlhú životnosť a spektrálne zloženie. Sú ale vďaka tomu, oproti ostatným zdrojom, drahšie, a preto sa ich používanie obmedzilo na osvetľovanie historických miest a budov, hotelov, divadiel a štúdií. [7] [12]



Obr. 6 Halogénová výbojka [1]

1.1.5 LED diódy

LED diódy fungujú na princípe prechodu prúdu PN prechodu, tým vyžarujú ultrafialové svetlo, ktoré je pomocou luminiscencie premenené na viditeľné svetlo. Sú monochromatické, a teda vyžarujú svetlo v jednej farbe. Biele svetlo môžeme dosiahnuť pomocou luminoforu alebo pomocou RGB farebných diód, ktoré sú zložené z troch základných farieb (červená, zelená a modrá) a ich kombináciou získať potrebné svetlo. Sú závislé na teplote a s rastúcou teplotou klesá životnosť. LED diódy sa stali najpoužívanejším zdrojom vďaka ich parametrom a majú aj veľké množstvo využitia v domácnosti, automobilovom priemysle, na športoviskách, verejnom osvetlení, v nemocniciach, priemyslových priestoroch atď. [12]

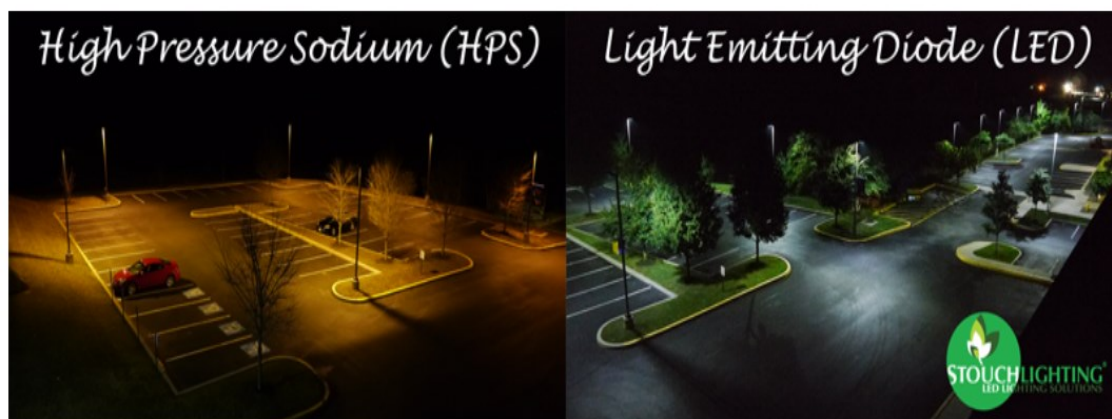


Obr. 7 Vysokovýkonová LED [12]

Tab. 2 Zhodnotenie a porovnanie LED s vysokotlakovými sodíkovými výbojkami [30]

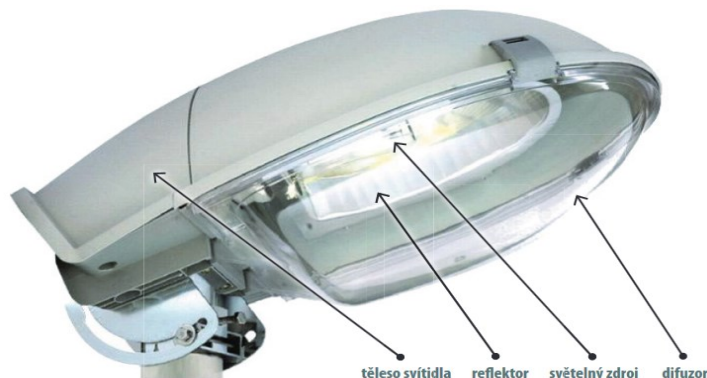
Parameter	LED	Vysokotlakové sodíkové výbojky	Lepší zdroj
Teplota chromatičnosti	Majú veľký rozsah od 2200 K do 6000 K	Pohybuje sa kolo 2200 K, kde táto hodnota zodpovedá v žltom rozmedzí, a teda majú veľmi malý výber farieb	LED
Index podania farieb	Ra závisí od daného svetla, a to v rozmedzí od 65-95.	Má malú hodnotu Ra, a to 25, má väčšie Ra než nízkotlakové sodíkové výbojky, ale oproti ostatným má stále malé Ra	LED
Spínanie ON/OFF	Ideálny zdroj svetla pri veľkom počte spínaní. Reagujú skoro okamžite (nepotrebnú mať čas na zahriatie alebo vychladnutie) a vytvárajú trvalé svetlo bez blikania.	Pri zapnutí potrebuje približne 5 min., aby nabehla na svoju menovitú hodnotu svetelného toku. Môže dochádzať k blikaniu.	LED
Stmievanie	Sú jednoduché na stmievanie, a to buď znížením prúdu alebo zmenou impulzu. Stmievanie od 0,5% do 100%.	Môžu byť manuálne stmievané pomocou elektrických alebo magnetických predradníkov, pri tomto stmievaní dochádza k zmene vstupného napätia, a tým môže dôjsť k zmene svetelnej charakteristiky. Pri starších zdrojoch, stmievanie môže zapríčiniť aj predčasné ukončenie životnosti. Stmievanie od 30% do 100%.	LED
Smerovanie	Emitujú svetlo v 180°, väčšinou žiadaná funkcia, keďže pri návrhu chceme osvetľovať danú plochu.	Emitujú svetlo v 360°, a teda potrebujú reflektory, aby bola presmerovaná veľká hodnota svetelného toku.	LED
Pokles účinnosti	Účinnosť klesá s rastúcim prúdom. S rastúcim prúdom stúpa teplota, a tým sa znižuje životnosť. Priemerná účinnosť sa pohybuje okolo 80%, kde došlo k malým zmenám parametrov zdroja.	Pri 90% účinnosti je svietidlo skoro v polovici jej životnosti a taktiež je pokles parametrov malý. Pri 80% ako aj LED sa blížila ku konci životnosti.	-

Životaschopné emisie svetla	Vytvárajú veľmi úzke spektrum viditeľného svetla bez straty irelevantných typov žiarenia (IR, UV) alebo tepla spojeného s konvenčným osvetlením, a teda väčšina energie svetelného zdroja sa premení na viditeľné svetlo.	Vytvárajú veľmi úzke spektrum viditeľného svetla.	LED
Emisie tepla	Emitujú malé množstvo tepla. Nevýhodou je zimné obdobie, kde svetlo musí byť nasmerované dole alebo pokryté zorknikom.	Emitujú väčšie množstvo svetla, kde predradníky absorbujú nejaké množstvo a zvyšok je emitované do prostredia. Približne 15 % emisií sa stratí kvôli stratám energie a teplotným stratám. Svetlo má vyžarovať svetlo a nie teplo.	LED
Nákupná cena	Závisí podľa druhu LED, ale celkovo sú drahšie oproti sodíkovým výbojkám.	Sú lacnejšie ako LED.	Vysokotlakové sodíkové výbojky
Prevádzková cena	Majú skoro nulové náklady na prevádzku a kvôli životnosti vydržia najdlhšie v porovnaní hocíjakých svetelných zdrojov.	Cena za prevádzku nie je veľká, a keď nepočítame LED, tak majú veľkú životnosť, v porovnaní s LED ale by bolo potrebné vymeniť niekoľko sodíkových výbojok, aby sa vyrovnala životnosti jednej LED.	LED
Odolnosť proti nárazom	Sú odolnejšie.	Banky sú veľmi jemné.	LED



Obr. 8 Porovnanie osvetlenia pre vysokotlakové sodíkové výbojky a LED [30]

Svietidlá sa skladajú z optických, elektrických a konštrukčných častí. Optická časť nám pomocou (reflektorov, difúzorov, refraktorov) umožňuje svetelný tok odrážať, rozptyliť alebo oboje naraz. Týmto spôsobom môžeme obmedziť svetelný tok pri osľňovaní a nasmerovať tam, kam chceme. Elektrické časti slúžia na privod elektrickej energie, aby sa mohla premeniť na svetelnú, a to pomocou objímok, svorkovnic, predradníkov a zapalovačov. Konštrukčná časť slúži k upevneniu zdroja, k jej ochrane pred vniknutím cudzích predmetov a vody. [1] [3]



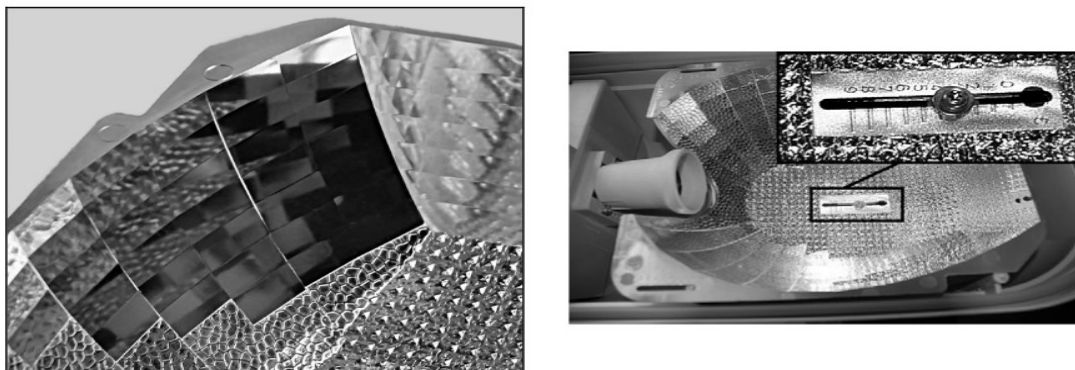
Obr. 9 Svetidlo [8]

1.1.6 Reflektory

Reflektor má optické vlastnosti závislé na materiáli a spôsobe jeho spracovania. Používané materiály sú [13]:

- Matovaný hliník je používaný najviac a má odrazivosť 55-60%
- Leštený hliník je viac kvalitnejší a má odrazivosť 60-72%
- Plátavaný hliník je skoro z čistého hliníka až 99,9% a má odrazivosť 72-90%

Spracovanie je taktiež dosť dôležité a ovplyvňuje účinnosť svietidla. Jednoduché výlisky sa používajú u menej kvalitných svietidiel, nezaručujú kvalitné spracovanie svetelného toku. Pri použití zložitejších tvarov sa používajú aj kvalitnejšie, zrkadlovo odrážajúce materiály. Zväčší sa účinnosť svietidiel oproti prechádzajúcim a najväčšiu účinnosť majú zložito tvarované reflektory, taktiež zvané radiálne fasetované. Používajú plátavaný hliník alebo plastové výlisky vysokej presnosti, na ktorých je naparená vysokoodrazná vrstva. [13]



Obr. 10 Fasetový reflektor a nastavenie posunu (používa iný posuv pre rôzne oblasti) [13]

Difúzor má taktiež optické vlastnosti závislé na materiáli a spôsobe spracovania. [13]

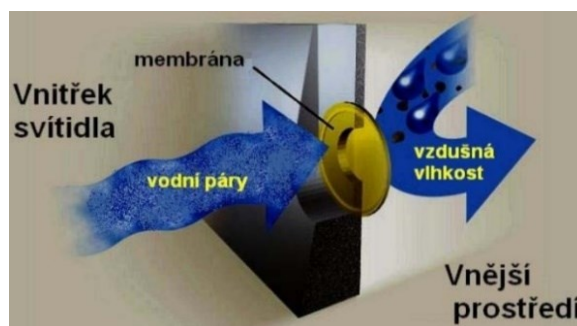
- Tvrdené sklo je farebne stabilné, odoláva teplote, vykazuje vyššiu váhu, má zložité tvarovanie, a preto má plochý alebo vypuklý tvar.
- Antireflexné tvrdené sklo vylepšuje do určitej miery vlastnosti s plochým sklom ale za cenu drahšiu ako s tvrdým sklom.
- Polykarbonát je nerozbitný, vykazuje rýchlejšie starnutie a po 3-6 rokoch sa zakalí, potom je potrebné ho vymeniť.
- Polymetylmetakrylát je farebne stály, ale nie je nerozbitný.

Spracovanie môžu mať v tvare plochého skla. Malé množstvo svetla odrazeného od reflektora dopadá na ochranné sklo v normálovom smere, a pokiaľ dopadne pod väčším uhlom od normálového, tak svetlo prechádza väčšou vrstvou skla, a teda dochádza k difúznym stratám a ďalšie straty vznikajú odrazom svetla späť do svietidla (až 80% straty). Pri ich používaní je potrebné pre rovnomerné osvetlenie VO použitie malých roztočí alebo vyšších stožiarov. Na vylepšenie sa môže použiť antireflexné sklo, ktoré zníži straty, ale je cenovo drahšie alebo mierne vypuklé sklo, ktoré čiastočne znižuje straty. Najčastejšie používané sú vypuklé difúzory, majú najlepší pomer ceny k výkonu. Inou variantou je Fresnelova šošovka, je zložená z hranolov, ktoré lámu svetlo a umožňujú nám nasmerovanie na požadovaný smer. [13]



Obr. 11 Z ľavej strany ploché sklo (účinnosť 76%), mierne vypuklé sklo (78%), vypuklé sklo (80%), refraktor s Fresnelovou šošovkou (82%) [13]

Podstatne dôležitým je aj tesnenie svietidla. Dokonalé utesnenie nám chráni svietidlo pred vlhkosťou, problém nastáva, ak je svietidlo otvorené počas dažďa alebo vlhšieho ovzdušia a pri uzavretí nám ostáva vo vnútri svietidla vlhkosť, ktorá sa nemôže odpariť a začne kondenzovať. Týmto nám klesá účinnosť svietidla, riešením je jednostranná priepustná membrána, ktorá umožní, aby sa vlhkosť dostala zo svietidla preč a naopak, neumožní, aby prenikla dovnútra. [13]



Obr. 12 Funkcia membrány [1]

1.1.7 Krytie

Každé svietidlo má svoj stupeň ochrany, ktorý je označený značkou IP XX. Prvé číslo je v rozmedzí 0 až 6 a vyjadruje stupeň ochrany pred vniknutím cudzích predmetov a pred dotykom. Druhé číslo je v rozmedzí 0 až 8 a vyjadruje stupeň ochrany pred vniknutím vody. Pre VO sa používa stupeň ochrany IP 65 alebo 66, takto je chránené pred dotykom a proti vode. Hermetické uzávery majú zaopatrený uhlíkový filter, ktorý vyrovnáva vnútorný tlak spôsobený zmenami teploty svietidla, a tým umožňuje svietidlu dýchať. [8]

Ďalší stupeň ochrany je označovaný IK XX a znamená mechanický stupeň ochrany, kde IK00 je na väčšine svietidiel a IK10 je svietidlo odolné proti vandalizmu. [8]

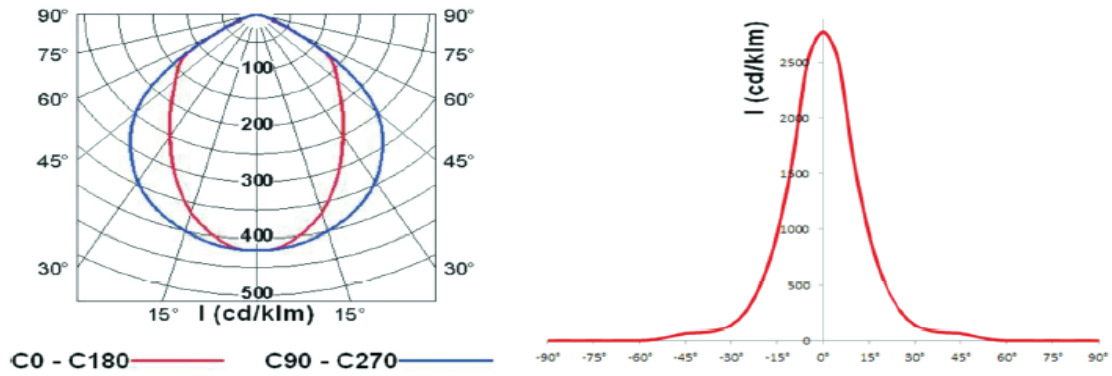
1.1.8 Predradníky

Predradníky upravujú napájanie svetelných zdrojov a umožňujú ich rozbeh. Rozdeľujú sa na elektromagnetické a elektronické. Elektromagnetické predradníky sú tvorené tlmivkou, štartérom a kondenzátorom kvôli kompenzácii. V terajšej dobe sú ale aj tak nevhodné a nekomfortné. Elektronické predradníky majú spotrebu skoro o polovicu menšiu, okrem toho ale majú oveľa viac výhod, a to okamžitý štart bez blikania, rýchly nábeh na menovitú hodnotu, potlačenie stroboskopického javu, zvýšenie merného výkonu a väčšiu životnosť svietidla. Stmievanie potrebuje predradník s regulačným prvkom. Výbojkové svietidlá majú možnosť vymeniteľného svetelného zdroja. [1]

Predradník u LED svietidla sa nazýva driver. Keďže LED svietidlá sú navrhnuté na malé napätie, drivery slúžia na premenu vysokého napätia so striedavým prúdom na menšie napätie s rovnakosmerným prúdom a ich spotreba je 10-15% zo svietidla. U väčšiny LED svietidiel je možné stmievanie s driverom bez ďalších úprav. LED svietidlá majú veľké množstvo funkcií, ako je autonómne stmievanie (pokles svetelného toku v nočných hodinách), funkcia konštantného svetelného toku (napájané s nižším prúdom a s rastúcim počtom hodín sa prúd zvyšuje, tým nám kompenzuje úbytok svetelného toku). Diódy sú v svietidlách upevnené natrvalo, a preto pri poruche je potrebné vymeniť celé svietidlo. U niektorých typov je možné použiť LED modul, na ktorý sú upevnené diódy a pri výmene stačí vymeniť modul. [12]

1.1.9 Základné vlastnosti svietidla

Krivka svetivosti je predstavená na obrázku 13 a znázorňuje vyžarovaný svetelný tok daný svietidlom do priestoru. Pri osvetľovaní rôznych miest sa môžu použiť rôzne svietidlá s rôznymi krivkami osvetlenia. Napríklad pri osvetľovaní vozovky použijeme krivku svetivosti širšiu, aby nám osvetlila celú cestu a pri osvetľovaní chodníka a prechodu pre chodcov je treba dbať aj na osvetlenie chodcov. [8]



Obr. 13 Krivka svietivosti [1]

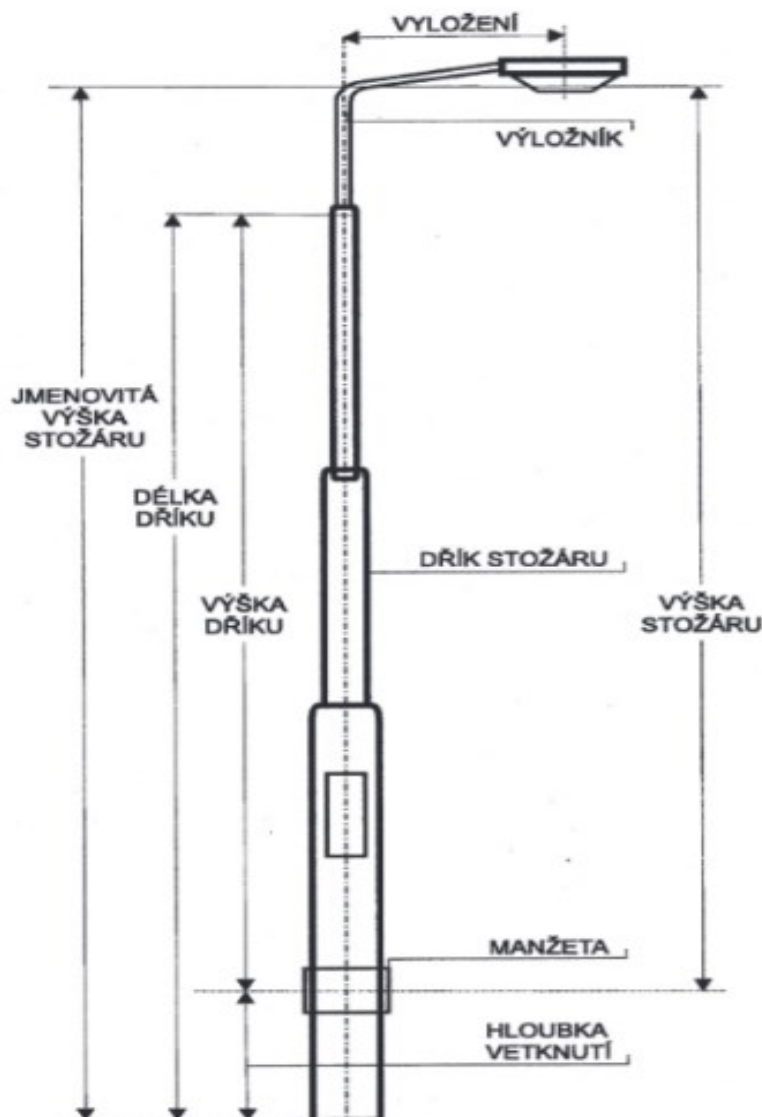
Účinnosť svietidla udáva mieru využitia svetelného toku a je daná pomerom svetelného toku svietidla k svetelnému toku svetelných zdrojov. U kvalitných svietidiel sa pohybuje účinnosť okolo 80-90%. [8]

Činiteľ využitia toku svietidla popisuje využitie svetelného toku dopadajúceho na potrebnú plochu. Je daný podielom dopadajúceho toku na potrebnú osvetľovanú plochu a celkového toku svietidla. [8]

Udržiavací činiteľ je daný podielom svetelného toku v danom čase k svetelnému toku na začiatku. Tento činiteľ postupne klesá a je to zapríčinené starnutím svietidla, znečistením a znížením kvality optických častí svietidla. Činiteľ musí byť dodržiavaný po celej dĺžke prevozu, a pokiaľ nevyhovuje, je potrebné zväčšiť o takú hodnotu svetelný tok. [8]

1.2 Stožiare

Stožiare slúžia hlavne na upevnenie svietidiel, ale okrem toho jej súčasťou sú aj elektrické príslušenstvá potrebné pre spustenie svietidla (stožiarová rozvodnica, vodiče, zemniace svorky a pod.). Pri voľbe stožiarov je potrebné prihliadnuť aj na estetický vzhľad, najmä čo sa týka osvetlenia mesta. Väčšinou rozdeľujeme stožiare na stožiare s päticou prekrywajúcou rozvodnicu, ktorá sa nachádza v stožiaru a druhý typ sú stožiare bezpäťkové, kde je rozvodnica umiestnená vo vnútri stožiaru. Bezpäťkové stožiare sú odolnejšie proti poškodeniu a sú častejšie používané, päťkové stožiare sa používajú málo. [8]



Obr. 14 Popis stožiaru [8]

Podľa ČSN 73 6005/Z4 07/2003 sa stožiare VO umiestnia do prirodzených priestorov, ako je nespevnená časť, pomocný pás, chodníky atď. a musí byť dodržaná minimálna vzdialenosť stožiaru od obrubníka pol metra. [31]

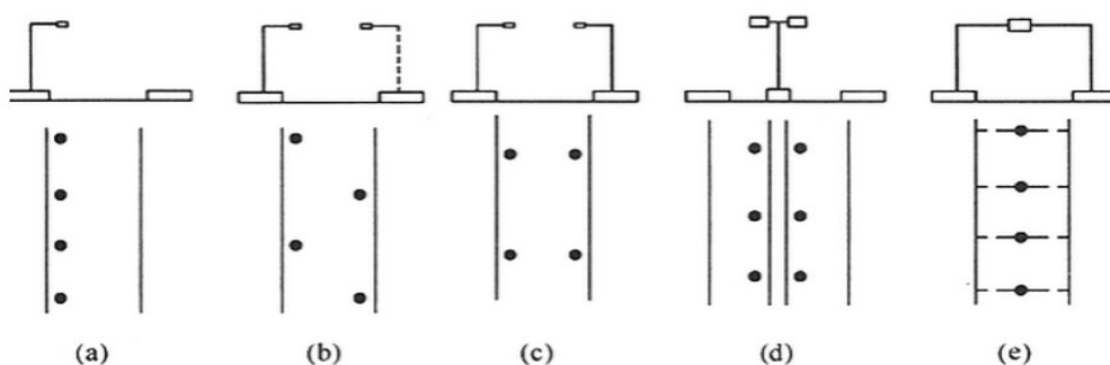
Stožiare bez päťice musia mať umožnený jednoduchý prístup, a preto spodný okraj slúžiaci pre prístup elektrickej výzbroje musí byť minimálne 0,6 m nad úrovňou votknutia. [31]

Stožiare s výložníkom musia mať pevné mechanické spojenie s drikom stožiaru, zabránenie samovoľnému pootočeniu výložníka, spojenie zabezpečujúce neustálu správnu polohu a bezpečnosť. Miesto spojenia je tvorené zavŕtaním dvoch alebo viac skrutiek cez drik stožiaru do výložníka a je chránené krytkou výložníka, aby sa tam nedostala voda. [31]

Výška stožiaru ovplyvňuje tak investičné náklady, ako aj prevádzkové náklady, kde ide hlavne o možnosť zmenšenia počtu svetelných bodov vplyvom väčšej výšky, ale zase je potrebné mať k dispozícii potrebné technické vybavenie pre údržbu svietidiel vo väčšej výške. Životnosť stožiaru i nároky na údržbu významne ovplyvňuje kvalita povrchovej úpravy. Najviac používané sú nátery, metalizácia alebo žiarové zinkovanie, ktoré dodávajú stožiarom najväčšiu životnosť. [8]

Tab. 3 Tabuľka možných veľkostí stožiarov a ich použitia [33]

Výška stožiaru (m)	Odporúčané miesto
5	Chodníky a cyklistické trasy
8	Lokálne, úzke a kľukaté cesty
10	Lokálne, hlavné, okresné a miestne cesty
12	Hlavné, okresné a miestne cesty
15	Diaľnice a miestne cesty



Obr. 15 Rozloženie osvetľovacích stožiarov a) jednostranné rozloženie; b) striedavé rozloženie; c) striedavé obojstranné rozloženie; d) symetrické stredné rozloženie; e) závesné rozloženie [4]

Jednosmerné usporiadanie je používané pri cestách s dvoma pruhmi. Pri použití na širších cestách by okraje vozovky neboli dostatočne osvetlené, a teda nebolo splnené rozloženie osvetlenia. [4]

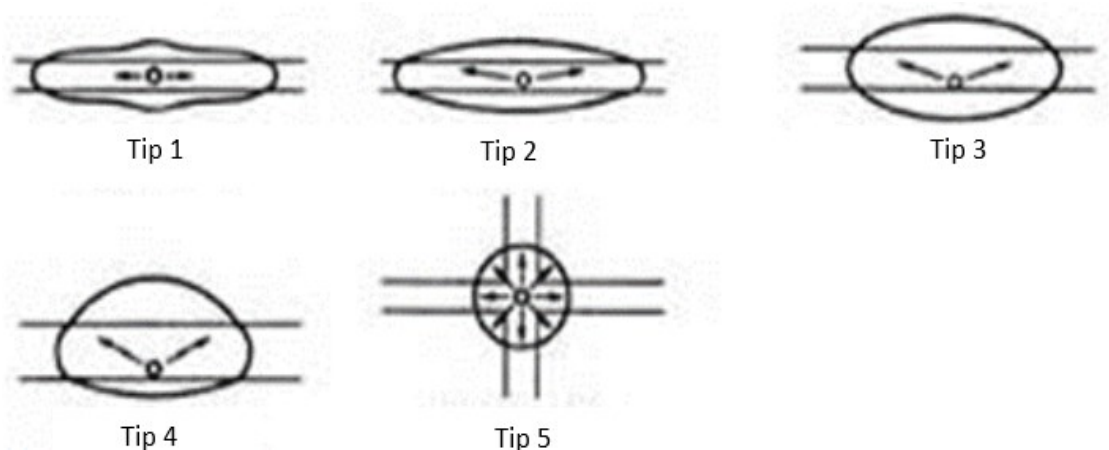
Striedavé a striedavé obojstranné rozloženie sa používa pri cestách s viac ako dvomi pruhmi, takto rozložené osvetlenie nám rovnomerne osvetlí cestu z oboch strán. [4]

Symetrické stredné rozloženie sa používa pri cestách s viac ako dvomi pruhmi, ktoré majú obmedzenú pravú stranu na vonkajšej strane vozovky. Použitím takéhoto rozloženia sú rovnomerne osvetlene obe strany. [4]

Závesné rozloženie sa často nepoužíva. Táto konštrukcia je cenovo drahšia, pretože musí byť navrhnutá nová konštrukcia pre zdroj osvetlenia. Ostatné spomenuté rozloženia už majú navrhnutú konštrukciu výrobcou svetla. [4]

Pri návrhu VO sa vykonáva kontrola parametrov podľa vypočítavej metódy v ČSN 36 0400, kde sa spracuje bodový výpočet medzi dvoma svetelnými miestami. V priečnom smere stačí v troch kontrolných bodoch v každom jazdnom pruhu. V pozdĺžnom smere pri rozostupe svetelných bodov do 50 m je dostatočné spracovať výpočet v 10 kontrolných bodoch. Pri rozostupe nad 50 m môže byť rozstup kontrolných miest maximálne 5 m. Priemerná hodnota osvetlenia alebo jas sa potom určí aritmetickým priemerom hodnôt v jednotlivých kontrolných bodoch. Je nutné túto hodnotu upraviť udržiavaním činiteľov. [9]

V závislosti na dizajne osvetlenia môžeme mať svietidlo mimo cesty, na okraji cesty alebo nad cestou. Pri svietidlách na okraji vozovky alebo mimo nej nám bude dopadať menej svetelného toku na cestu a viac mimo nej. Pri týchto typoch je ale údržba zložitejšia. Pokiaľ je použité svietidlo nad cestou, väčšina svetelného toku dopadá na vozovku a menšia časť mimo, pri tomto type je ale zložitejšia údržba, keďže svietidlo je nad vozovkou. V kapitole 1.2 boli spomenuté krivky svietivosti pre svietidlá a vo VO sa používajú tieto typy [4]:



Obr. 16 Krivky svietivosti [4]

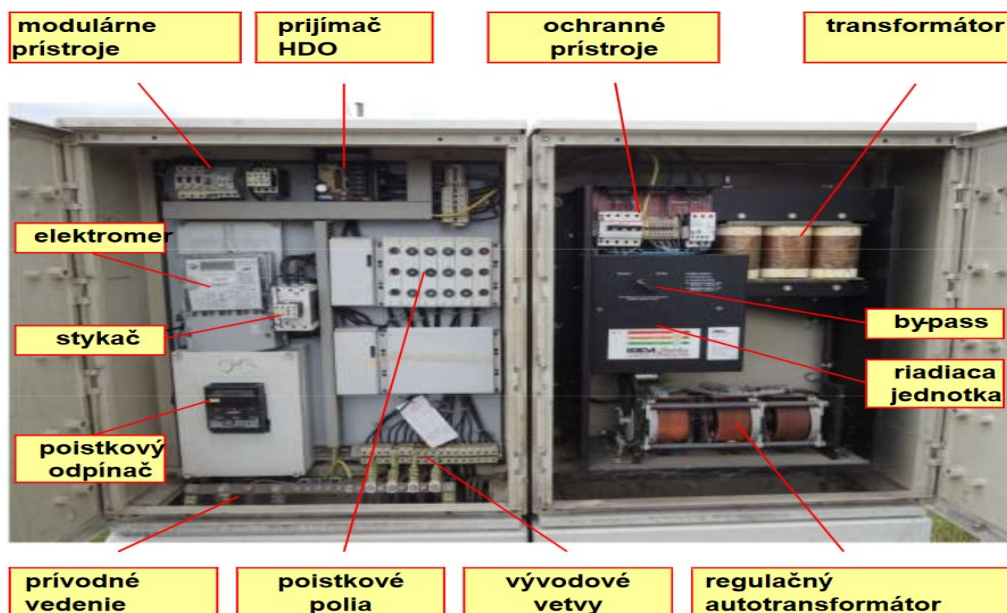
- Typ 1 väčšina svetelného toku je smerovaná na vozovku a len malé množstvo je mimo nej. Najideálnejšie použitie tohto typu je pre osvetľovanie obytných úsekov, aby nedochádzalo k osľňovaniu domov. [4]
- Typ 2 väčšina svetelného toku je smerovaná na vozovku a o niečo viac svetelného toku mimo cestu oproti typu 1. Taktiež najideálnejšie použitie pri osvetľovaní obytných úsekov. [4]
- Typ 3 a 4 oveľa väčšie množstvo svetelného toku je mimo vozovky oproti typu 1 a 2 a môže sa používať pri osvetľovaní širších vozoviek. [4]
- Typ 5 používaný pri vysokých stožiaroch. Svetelný tok je rovnomerne distribuovaný do všetkých smerov v kruhovom tvare. Nie je vhodný pri používaní obytných úsekov. [4]

1.3 Prípojky, rozvádzače a káble

Od distribútora elektrickej energie začína prípojka, ktorá vedie do rozvádzača VO. Elektrické prípojky VO musia spĺňať podmienky platných ČSN, hlavne ČSN 33 320 ed. 2 a ČSN 33 2000. Nové prípojky sú pripájané hlavne na 3f sieť TN-C o menovitom napätí 230/400 V a odbočujú od spínacích prvkov alebo prípojnic rozvádzača NN v distribučných trafostaniach VN/NN, pokiaľ však je inak potrebné, je možné aj odbočenie z iného miesta distribučného rozvodu NN. [14]

Dimenzovanie a istenie elektrickej prípojky VO musí spĺňať podmienky noriem ČSN 33 2000-4-41 ed.2, ČSN 33 2000-4-43 ed.2, ČSN 33 2000-4-473, ČSN 33 2000-5-52 ed.2 a ostatné súvisiace normy. Doporučené istenie elektrickej prípojky z distribučného rozvodu NN by malo byť o 2 stupne vyššie ako hodnota vstupného istenia v zapínacom rozvádzači a u prípojkovvej skrine musí byť istenie aspoň o 1 stupeň vyššie ako menovitá hodnota hlavného istenia rozvádzača. [14]

Zapínací rozvádzač VO (RVO) slúži k napájaniu, isteniu a zapínaniu VO. Prevedenie musí byť zo samozhasovacieho materiálu a minimálnej ochrany IK 08. Každý rozvádzač podľa ČSN EN 60 439-1,3,4 musí obsahovať protokol o skúške daného rozvádzača, prehlásenie o vlastnostiach a štítok označenia CE. Vo vnútri je vybavený osvetlením a ručným zapnutím kvôli údržbe a revízii. Skladá sa z napájacej časti a vývodovej. Napájacia časť je tvorená hlavným ističom, za ním sú meracie prístroje, ktoré sú zaplombované spolu alebo samostatne. Za meracími prístrojmi je vývodová časť, ktorá je tvorená spínacími stýkačmi a istením jednotlivých vetiev VO. V rozvádzači musia mať štítky pre označenie vývodov a štítok spätného prúdu z iných zdrojov. Odbočkový rozvádzač VO (RVOO) slúži ako odbočkový rozvádzač do viac smerov, poprípade k odisteniu jednotlivých vetiev. Smyčkový rozvádzač VO (RVOS) odbočuje bez istenia a slúži ako náhrada za odbočný, tam kde nie je priestor. [14]



Obr. 17 RVO rozvádzač verejného osvetlenia [15]

Káblové rozvody v zemi by mali zodpovedať normám ČSN 33 2000-5-52 ed.2, stavebné povolenie s ohľadom na majetkové vzťahy daných pozemkov podľa ČSN 73 6005 a pri križení, súbehu káblov s inými alebo s potrubím, musí zodpovedať dokumentácii a ČSN 73 6005. Káble musia byť uložené tak, aby nedošlo k ohrozeniu osôb, zvierat alebo majetku, v prípade, že hrozí mechanické poškodenie, káble musia byť uložené a chránené tak, aby nedošlo k žiadnemu poškodeniu. Ukladajú sa do korugovaných ochranných trúbiek s priemerom podľa kábla, šírky káblovej ryhy a hĺbky podľa tabuľky 4 [14]:

Tab. 4 Uloženie zemných káblov pre VO [14]

Miesto	Šírka ryhy	Hĺbka
Voľný terén, zeleň a chodníky	min. 35 cm	min. 50 cm
Chodníkové nájazdy, vjazdy na susedné plochy, atď.	min. 35 cm	min. 80 cm
Prekop pod komunikáciami	min. 50 cm	min. 120 cm

Na dno káblovej ryhy sa na vrstvu betóna uložia chráničky a obetónujú sa. Pokiaľ sa ukladajú káble do zeme bez trúbiek musí byť nad aj pod káblom vrstva piesku 8 cm, zvyšok sa zasype výkopovým materiálom a označia sa červenou výstražnou fóliou. Nové káblové rozvody musia byť medené CYKY, alebo pokiaľ nie sú vyžadované hliníkové AYKY (obytné zóny s vysokým levelom vandalizmu). [14]

V súčasnosti je najviac účinným prenosom pomocou optických káblov, preto sa v trúbkach, ktoré vedú kabeláž VO, začala nechávať medzera, keby bolo potrebné v budúcnosti pridať optické káble.

Rozvod vonkajším vedením musí byť tvorený samonosnými izolovanými vodičmi alebo občasne závesnými káblami AYKYz alebo CYKYz. Prechod z káblového na nadzemný rozvod VO musí byť cez poistkovú skriňu upevnenú na stožiare vonkajšieho vedenia. Pokiaľ sa vyžaduje, môže sa rozvod VO umiestniť na podperných bodoch distribučného rozvodu NN, pokiaľ [14]:

- Nadzemné vedenie je brané ako silové, a preto platia normy ČSN EN 50 100-1 ed. 2 a PNE 33 3302
- Ochrana pred úrazom rovnaká ako distribučný rozvod NN a vodiče PEN vedené vždy spolu s fázovými vodičmi VO
- Neživé časti svetiel musia byť spojené s neživými časťami podperného bodu
- Svietidlá sa umiestňujú pod vodiče distribučného rozvodu NN a nad ne sa môžu umiestniť len na osvetľovacie výložníky, ktoré majú bezpečnú vzdialenosť od vodičov.
- Napájanie VO a distribučného rozvodu NN musí byť z rovnakej trafostanice.
- Na podperné body distribučnej siete NN je možné umiestniť len 2 vedenia VO napájaného z jedného zapínacieho miesta.

2 Parametre VO a normy VO

2.1 Sledované parametre VO

- Jas
- Osvetlenie
- Príkon a merný výkon
- Spotreba, PDI/AECI
- Doba životnosti
- Farebný tón svetla
- Index podania farieb
- Krivka svietivosti
- Krytie svetidla a mechanická odolnosť

Jas sa označuje L a jeho jednotkou je kandela na meter štvorcový ($cd.m^{-2}$). Hodnotí sa ňou úroveň osvetlenia na komunikáciách vyšších tried pre motorové vozidlá a mal by sa pohybovať medzi $0,3$ až $2 cd.m^{-2}$. [16]

Osvetlenie sa označuje E a jeho jednotkou je lux (lx). Udáva hodnotu svetelného toku dopadajúceho na plochu. Hodnotí sa ňou úroveň osvetlenia na komunikáciách nižších tried pre vedľajšie komunikácie s obmedzenou rýchlosťou, pešie a cyklistické cesty. Požadovaná hodnota by mala byť od 2 do $50 lx$. [16]

Príkon sa označuje P , jednotkou Watt (W). Udáva spotrebovanú elektrickú energiu svetidla. U výbojkových svetidiel sa udáva len svetelný zdroj. U LED svetidiel sa udáva príkon celého svetidla alebo priemer príkonu svetidla, pokiaľ sa autonómne stmieva. [3]

Merný výkon sa označuje η a jeho jednotkou je lumen na Watt ($lm.W^{-1}$). Udáva účinnosť premenenej elektrickej energie na svetelnú. [16]

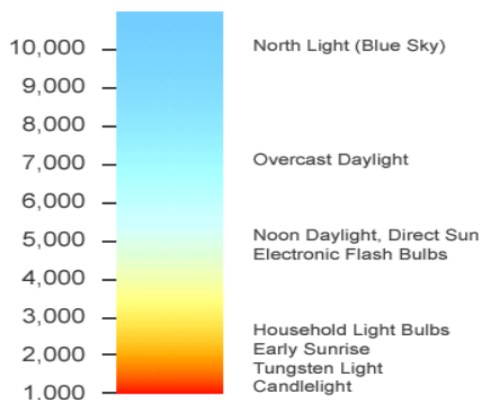
Spotreba elektrickej energie je daná dĺžkou prevádzky a určuje sa rôzne, táto doba pri nepretržitom svietení v noci je približne 4380 hodín. Na spotrebu VO majú najväčší vplyv svetidla, ale okrem nich sú tam zahrnuté aj ďalšie spotrebiče (dopravné značenia, radary, kašne a pod.) [3]

PDI/AECI boli zavedené normou ČSN EN 13201-5 pre hodnotenie účinnosti VO. PDI je ukazateľ hustoty príkonu ($W.lx.m^{-2}$) a ročná spotreba AECI ($Wh.m^{-2}$). Obe tieto hodnoty môžu byť požadované pri energetickom hodnotení VO. [3]

Doba životnosti sa označuje t a jednotkou je hodina (h). Priemerná doba životnosti určuje, po akom čase klesne hodnota svetelného toku na 50%, preto je tradične doba života určená náhlou poruchou, po ktorej už svetelný zdroj nesvieti. Kvôli LED svetelným zdrojom sa musela doba životnosti zmeniť na kombináciu poklesu svetelného toku a náhle poruchy. Doba životnosti pre pokles svetelného toku sa označuje L_x a doba životnosti poruchy C_y , kde x označuje pokles svetelného toku v percentách a y označuje vzorku v percentách, pri ktorej už nesvieti. [3]

Farebný tón svetla udáva parameter teplota chromatičnosti, ktorá sa označuje T_c a jednotkou je kelvin (K). Vychádza zo spektrálneho zloženia svetla a znázorňuje pri danej teplote, v akej farbe ho vidíme. Rozlišujeme: [1] [3]

- Teplá biela menej ako 3300 K
- Biela medzi 3300-5000 K
- Denne viac ako 5000 K



Obr. 18 Teplota chromatičnosti [30]

Index podania farieb je bezrozmerná veličina a značka je R_a . Je v rozmedzí od 0, kde nevieme rozlíšiť farbu svetla až do 100, kde je jasne vidieť všetky farby, príklad je na obrázku 8.[16]

Krivka svietivosti, krytie a mechanická odolnosť svietidla boli popísané v kapitole 1.

2.2 Normy VO

Normy rozdeľujú osvetlenie pre VO do tried podľa typu použitia. Trieda osvetlenia M sú určené pre vodičov motorových vozidiel pohybujúcich sa po cestách a diaľniciach, pre niektoré krajiny v obytných oblastiach strednú a rýchlu povolenú rýchlosť. Trieda osvetlenia C sú určené pre vodičov motorových vozidiel v konfliktných oblastiach. Konfliktnou oblasťou sa rozumie oblasť, kde je možná zrážka vozidla s chodcom alebo cyklistom, patria tu obchodné oblasti, vozovka so zníženým počtom jazdných pruhov, zložité križovatky atď. Trieda osvetlenia P a HS sú určené pre chodcov a cyklistov vo všetkých oblastiach pohybujúcich sa po chodníkoch a cyklistických trasách. Trieda osvetlenia ES sú určené pre chodcov pohybujúcich sa v rizikových oblastiach s vysokou kriminalitou, je teda potrebné osvetlenie na rozpoznanie osôb. Trieda osvetlenia EV sú používané ako dodatočná trieda, kde musí byť osvetlená vertikálna plocha, napr. v pracovných oblastiach. [17] [18]

ČSN CEN TR 13201-1 nám popisuje výber triedy osvetlenia. Pre výber triedy osvetlenia sa používa multikriteriálna analýza, ktorá je zložená z bodov dovolenej rýchlosti, veľkosti premávky, zloženia dopravy, oddelenia vozovky, parkovaných vozidiel, okolitého osvetlenia a obťažnosti navigovania. Podľa týchto bodov určíme váhu zodpovedajúcej vozovky a dôležosti, je možné vytvoriť rôzne varianty s rôznymi hodnotami a po zvolení hodnôt danej

varianty ich sčítame a získame celkovú váhu varianty VWS. Po dosadení do vzorca $M = 6 - VWS$, ktorý patrí pre (M, S, C), získame triedu osvetlenia. Pokiaľ nám suma VWS vyjde 3, po dosadení do vzorca získame $6-3=3$ a to nám určí triedu osvetlenia M3. [17]

ČSN EN 13201-2 nám popisuje minimálne hodnoty pre priemerný jas (\bar{L}), celkovú rovnomernosť jasu U_0 , pozdĺžnu rovnomernosť jasu U_l , prahový prírastok f_{T1} a rovnomernosť osvetlenia (\bar{E}). Z tabuliek uvedených nižšie je možné vidieť, že trieda M sa navrhuje podľa jasu a triedy C a P podľa osvetlenia. [18]

Tab. 5 Triedy osvetlenia M [18]

Trieda	Jas povrchu vozovky pre				Obmedzujúce oslnenie	Osvetlenie okolia
	Suchý povrch min.		Mokrý povrch min.		Suchý povrch	
	$\bar{L}(cd.m^{-2})$	U_0	U_l	U_{0w}	max. f_{T1} (%)	min. R_{EI}
M1	2	0,4	0,7	0,15	10	0,35
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,35
M3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,3
M4	0,75	0,4	0,6	0,15	15	0,3
M5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,3
M6	0,3	0,35	0,4	0,15	20	0,3

Tab. 6 Triedy osvetlenia C [18]

Trieda	Vodorovné osvetlenie min.	
	$\bar{E}(lx)$	U_0 min
C0	50	0,4
C1	30	0,4
C2	20	0,4
C3	15	0,4
C4	10	0,4
C5	7,5	0,4

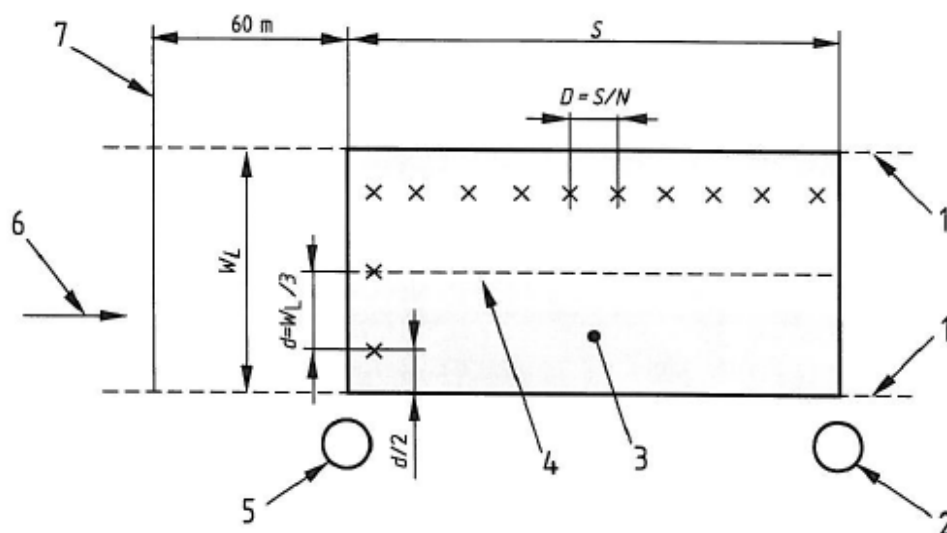
Tab. 7 Triedy osvetlenia P [18]

Trieda	Vodorovné osvetlenie		Ďalšie požiadavky, ak je potrebné rozoznať tvar	
	$\bar{E}(lx)$	$E_{min}(lx)$	$E_{v,min}(lx)$	$E_{sc,min}(lx)$
P1	15	3	5	5
P2	10	2	3	2
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5	1	1,5	1
P5	3	0,6	1	0,6
P6	2	0,4	0,6	0,2
P7	Neurčené	Neurčené		

Tab. 8 Triedy osvetlenia HS [18]

Trieda	Pologuľové osvetlenie	
	E_{hs} (lx)	U_0
HS1	5	0,15
HS2	2,5	1,15
HS3	1	2,15
HS4	Neurčené	Neurčené

ČSN EN 13201-3 nám popisuje výpočtové metódy jednotlivých parametrov udávané v norme ČSN EN 13201-2. Výpočty sú ale zjednodušené, kde sa neuvažuje odraznosť od okolia a prekážky v dráhe svetla, pohltenie v atmosfére je nulové, meraná plocha je rovinná a má rovnomernú odraznosť, svietidlo je považované za bodový zdroj. Určuje nám rozloženie výpočtových bodov a ich vzorce podľa obrázku 19, kde S je šírka medzi svietidlami, WL šírka vozovky a N počet výpočtových bodov. Pokiaľ $S \leq 30$, tak $N = 10$ a ak je $S > 30$, tak $D \leq 3$ m. Ďalej obsahuje výpočet pre osvetlenosť vodorovnú, polguľovú, polovalcovú a zvislú.[19]



Obr. 19 Znáznornenie vozovky a výpočtových bodov [19]

- 1 okraj vozovky
- 2 posledné svietidlo
- 3 výpočtové pole
- 4 os vozovky
- 5 prvé svietidlo
- 6 smer pozorovania
- 7 poloha pozorovateľa (vo vzdialenosti 60 m a vo výške 1,5 m)

ČSN EN 13201-4 nám popisuje metódy merania. Sú popísané podmienky pri meraní, kde pri výbojkách sa musí meranie spracovávať niekoľkokrát, aby došlo k ustáleniu svetleného toku. Teplota okolia by nemala byť ani studená ani teplá, aby nedošlo k ovplyvneniu prístrojov. Malo by byť sucho, aby nedošlo ku kondenzácii a vietor by nemal byť príliš silný. Pri meraní osvetlenia sa používa luxmeter a jasometer pre meranie jasú. [20]

ČSN EN 13201-5 nám popisuje energetickú náročnosť. Popisuje dve metódy, ktorých čiastočný popis je uvedený vyššie. Power density indicator (PDI), pomocou ktorého sa rozdelí oblasť na menšie oblasti, pre dané operácie a vypočíta sa PDI. Pri každej zmene triedy osvetlenia, ročného obdobia, zmena prevozu, ..., sa musí počítať nové PDI. Druhá metóda je annual energy consumption indicator (AECI), kde metóda zohľadňuje dobu svietenia, triedu osvetlenia, kvalitu inštalovaného osvetlenia, zmena osvetlenia pri zmene premávky a nepotrebné konzumovanie energie, keď osvetlenie nie je potrebné. Tieto dve metódy by mali byť vždy spolu dodané pre zhodnotenie energetického výkonu danej osvetľovacej sústavy. [21]

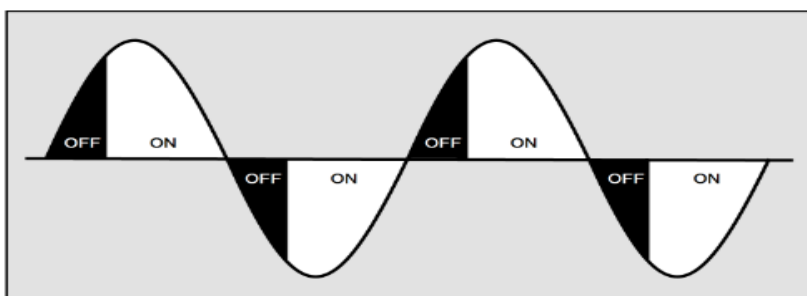
3 Stmievanie VO

Ako už bolo spomenuté v kapitole 2, osvetľovacie sústavy VO fungujú viac ako 4000h ročne a to má za následok veľkú spotrebu elektrickej energie a nákladov. Preto, na zníženie nákladov sa používa regulácia tam, kde došlo k výraznej zmene premávky. Dovoľené zníženie osvetlenia je až na 50% menovitej hodnoty, v extrémnych prípadoch zníženia premávky až o 65%. Pri regulácii musí byť zachovaná rovnomernosť osvetlenia. Aby bola regulácia zrealizovaná, je potrebné vykonať a doložiť analýzu o zmene intenzity premávky a musí byť schválená diaľničným úradom. V rizikových oblastiach s vysokou kriminalitou a nehodovosťou nie je odporúčaná. [1]

3.1 Vysokonapäťové metódy stmievania

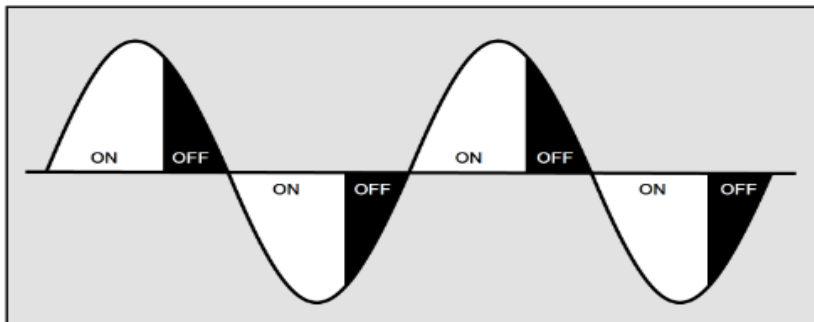
3.1.1 Fázové stmievanie

Predné fázové ovládanie používa stmievanie, kde je predná časť polovlny odrezaná a spojením niekoľkých polovln získame sínusoidu napätia. Ako obrázok 20 naznačuje, začiatok polovlny je vždy vypnutý (odrezaná časť) a zvyšok je zapnutý. Čím väčšia je vypnutá časť, tým menší výkon a opačne, pri zmenšovaní vypnutej časti, tým väčší výkon. [22]



Obr. 20 Predné fázové ovládanie [22]

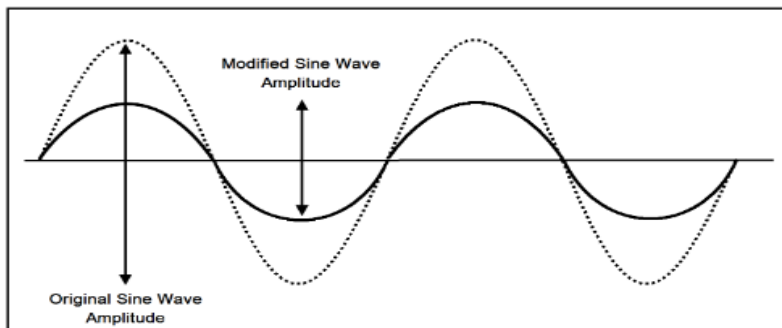
Spätné fázové ovládanie je opakom prednej a má odrezanú zadnú časť polovlny. Výkon tu je zapnutý hneď na začiatku signálu v 0 a nie ako v predchádzajúcej metóde, kde sa zapínal v strede napätia. To má za následok minimalizácie napäťových špíc, zníženie akustického šumu, hladšie zapnutie a potom prerušenie napätia. [22]



Obr. 21 Spätné fázové ovládanie [22]

3.1.2 Amplitúdové stmievanie

Amplitúdové stmievače redukujú dodávané napätie, a teda znížia len ich amplitúdu pri konštantnej dodávke napätia. Je to zapríčinené pomocou zmeny príhodného striedavého prúdu dodávaného cez pulznú šírkovú moduláciu k požadovanému napätiu. [22]

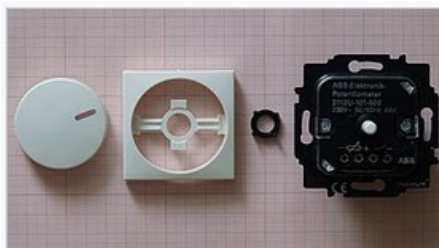


Obr. 22 Amplitúdové ovládanie [22]

3.2 Nízkonapät'ové metódy stmievania

3.2.1 0-10 V stmievanie

0-10 V stmievanie používa analógový nízkonapät'ový signál pre nastavenie stlmenej úrovne pripojenej záťaže. 0-10 V označuje hodnotu pri regulácii, 0 je hodnota najmenšia a 10 označuje hodnotu najväčšiu. Toto stmievanie je jednoduché implementovať a diagnostikovať kvôli malému prúdu zvyčajne 1 mA, umožňuje prenos cez tenké káble s malým poklesom napätia. Nevýhodou je pri používaní dlhých káblov, kde tento pokles napätia môže spôsobiť zníženie svetelného toku, preto musia byť káble na veľkú vzdialenosť jednotlivito nadimenzované. Ďalšou nevýhodou je množstvo káblov, každé ovládanie potrebuje mať zvlášť kábel a spätný kábel, pri veľkých sústavách by bolo potrebné veľké množstvo. [22] [26]



Obr. 23 1-10 V stmievač [26]

3.2.2 Pulzná šírková modulácia

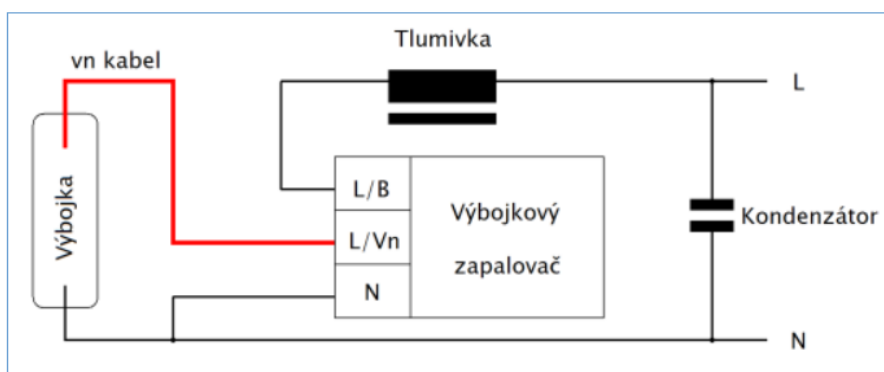
Pulzná šírková modulácia (PWM) zapína a vypína signál s malým napätím pri vysokej frekvencii. Napätie je dané podľa dĺžky cyklu, pri zapnutej časti menej ako 5% má najväčšiu hodnotu osvetlenia a pri zapnutej časti viac ako 95%, dochádza k plnému stmievaniu. Táto metóda umožňuje rovnomerné stmievanie, pretože nedochádza k poklesu napätia a je používaná vo veľa systémoch, na obrázku 26 je naznačené PWM na výstupe drivera. [22]

3.2.3 DALI

DALI je novšia verzia 0-10 V a ide o dvojsmerný digitálny systém, ktorý nám umožňuje na jednej strane ovládanie jednotlivých systémov a na druhej strane spätnú väzbu pri monitorovaní. Každé zariadenie má svoju špecifickú adresu 0 až 63, a teda môže byť pripojených 64 systémov, ktoré sú ovládané cez DALI. Celý systém DALI je napájaný dvomi káblami, ktoré nesmú byť dlhšie ako 300 m a musí mať 600 V izoláciu s maximálnym poklesom 2 V. Ďalej má 16 skupín, kde umožňuje posielanie príkazov danej skupine. [22] [27]

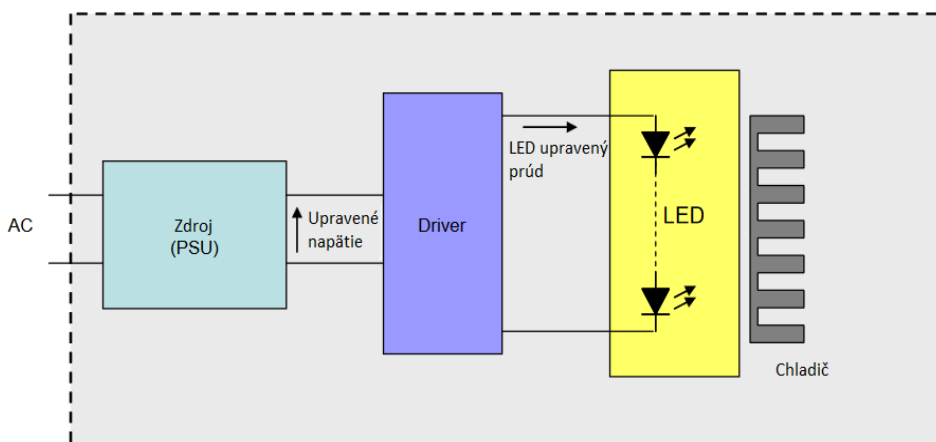
3.3 Stmievanie vysokotlakých sodíkových výbojok a LED

Vysokotlakové sodíkové výbojky sú napäťovo závislé a potrebujú špeciálny preradník alebo tlumivku s odbočkami na stmievanie. Sú stmievateľné zvyčajne od 30% do 100%, je potrebné sa držať medze stmievania, ináč môže dôjsť k poklesu životnosti výbojky alebo pri nedostatku napätia k jej vypnutiu. K stmievaniu výbojok sa používajú vysokonapäťové metódy. [1] [22]

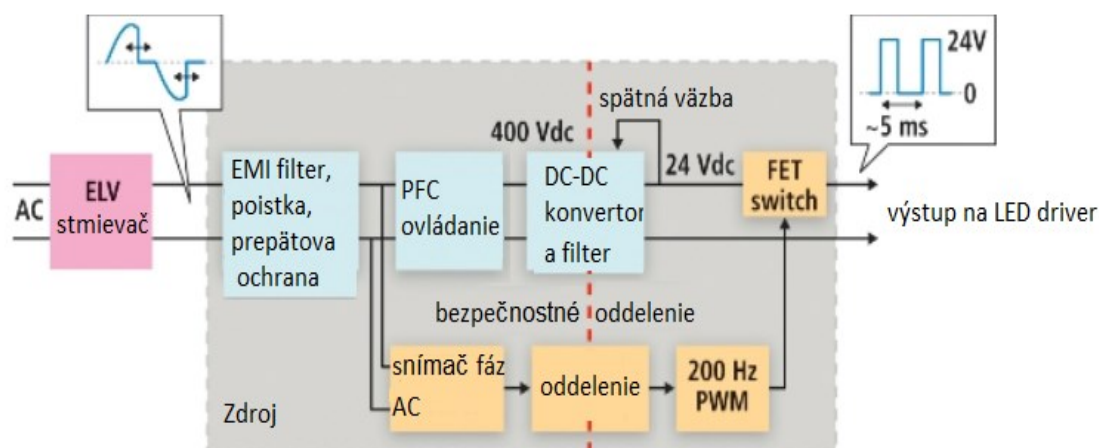


Obr. 24 Schéma vysokotlakovej sodíkovej výbojky s tlumivkou [23]

LED musia byť vybavené driverom, ktorý mení striedavý prúd na jednosmerný a obmedzuje prúd dodávaného do LED. Používané metódy na stmievanie sú nízkonapäťové metódy, kde vyššie sú uvedené 3 príklady, ale je ich viac. [22]



Obr. 25 Schéma LED s driverom [25]



Obr. 26 Naznačený vnútrojšok driveru [24]

Podľa obrázku 26 prichádza fázovo regulovaný signál do driveru, senzor monitoruje tento signál pred korekciou účinníku (PFC) a generuje výstupný signál úmerný množstvu fázového rezu. Výstupný signál je predávaný izolačnému obvodu, kvôli bezpečnosti na sekundárnej strane napájacieho zdroja a slúži ako vstup do regulátora PWM. Riadiaca jednotka PWM poháňa spínač MOSFET pripojený na výstup meniča DC-DC. MOSFET produkuje impulzy s konštantným napätím, ktoré sú LED ovládačom premenené na konštantné prúdové impulzy. Pri kontrole, ak nedôjde k zisteniu striedavej zložky, z výstupu dostaneme plnú hodnotu napätia pre pohon LED. [24]

3.4 Riadenie VO

Autonómne ovládanie VO sú dopredu naprogramované svietidlá, ktoré zapínajú a vypínajú v určitom čase. Ide o najjednoduchšie a najlacnejšie riešenie, ale má nevýhodu obmedzeného naprogramovania (nie je možné hocikedy preprogramovať) a riadenia. [32]

Centrálne ovládanie umožňuje ovládať viac svietidiel naraz z jedného centrálného miesta, prenos je väčšinou cez elektrické vedenie. Umožňuje väčšiu možnosť ovládania, kedy nejde len o naprogramovanie v danom čase, ale umožňuje automatické ovládanie podľa počasia alebo veľkosti premávky v noci. Týmto nie sme schopní získať informácie o stave svietidiel, ale len ich posielat'. [32]

Dynamické ovládanie svietidiel je možné skupinovo alebo jednotne, a to v danom čase, pomocou softwaru. Okrem toho je možné získať informácie o stave svietidiel a v prípade núdze, opraviť, než sa chyba zväčší. Dynamické ovládanie je cenovo drahšie a zložitejšie od ostatných dvoch, je však viac komfortné a úspornejšie. Z centrálného riadenia vedie väčšinou ethernet kábel do lokálnej jednotky a odtiaľ do svietidiel cez elektrické vedenie (PLC). Je možné taktiež použiť bezdrôtovú komunikáciu viď. kapitola 4. [32]

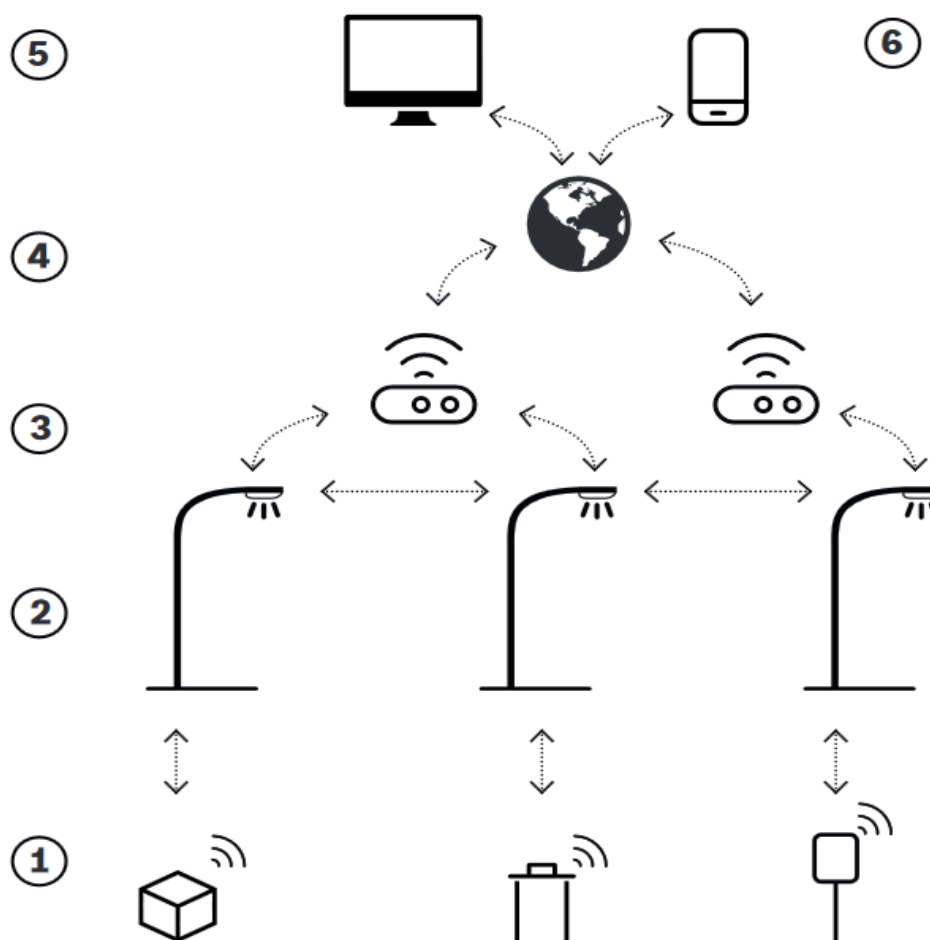
4 Inteligentné VO a popis polygónu VŠB

4.1 Inteligentné VO

Inteligentné VO je oblasť, vybavená chytrými prvkami, ktoré nám umožňujú automatické riadenie a monitorovanie VO. Sú riadené centrálnym systémom alebo distribuované rôznymi IoT (internet veci) komunikačnými protokolmi, zariadeniami a ich senzormi. [28]

Centralizovaný systém pozbiera dáta z jednotlivých inteligentných svietidiel do lokálnej ovládacej jednotky a odtiaľ do riadiaceho centra cez protokol s dlhým dosahom. Výhodou je ovládanie lokálnych jednotiek z jedného miesta, ale pokiaľ dôjde k poruche lokálnej jednotky, nebude možné ovládať v tejto jednotke osvetlenie. [28]

Distribuované systémy dodávajú tiež modulovú štruktúru, ktorá pomáha pri hľadaní porúch a zjednodušení údržby. Narozdiel od centralizovaného systému pri poruche lokálnej ovládacej jednotky, môžu svietidla komunikovať s vedľajšou lokálnou jednotkou a preniesť dáta do riadiaceho centra. Inteligentné VO nám teda umožňuje väčší komfort, efektívnejšie osvetlenie a ekonomickejšie riadenie. [28]



Obr. 27 Inteligentné VO systém [29]

1. Inteligentné VO senzory/hardware (snímače, inteligentné koše, digitálne označenia atď.) môžu byť pripojené pomocou systému a napájané cez inteligentný stožiar. [29]

2. Individuálne ovládače zabudované vo svietidlách na ovládanie daného svietidla a s možnosťou pripojenia iných senzorov. V inteligentných svietidlách sú používané LED, u ktorých vo vývoji za posledné roky je najväčší pokrok a v súčasnosti sa stávajú najviac úspornými. Oproti obyčajným stožiarom tu dochádza k veľkej zmene, kde inteligentné stožiare sú pod napätím 24 hodín denne a je potrebné ich vybaviť senzormi pohybu a svetla. Senzory pohybu reagujú na osoby a auta, senzory svetelne reagujú na zníženie osvetlenia, napríklad deň a noc. Po získaní dát zo senzoru sú informácie prenášané medzi jednotlivými svietidlami a riadiacim centrom, tým je možné napríklad získať príkaz na stmievanie, off alebo on. Tepelné a svetelné senzory zároveň slúžia na kontrolu prevádzkových chýb. Ostatné funkcie sú naznačené na obrázku 28.[28][29]

3. Lokálna ovládacia jednotka, ktorá prepája jednotlivé svietidlá a zbiera ich dáta cez komunikačný protokol s krátkym dosahom (IEEE 802.15.4 protokoly ako ZigBee, 6LoWPAN, Bluetooth Low Energy, ...) prenášajú dáta do riadiaceho centra. Prepájanie a komunikácia medzi jednotlivými svietidlami je taktiež cez komunikačný protokol s krátkym dosahom. [28][29][35]

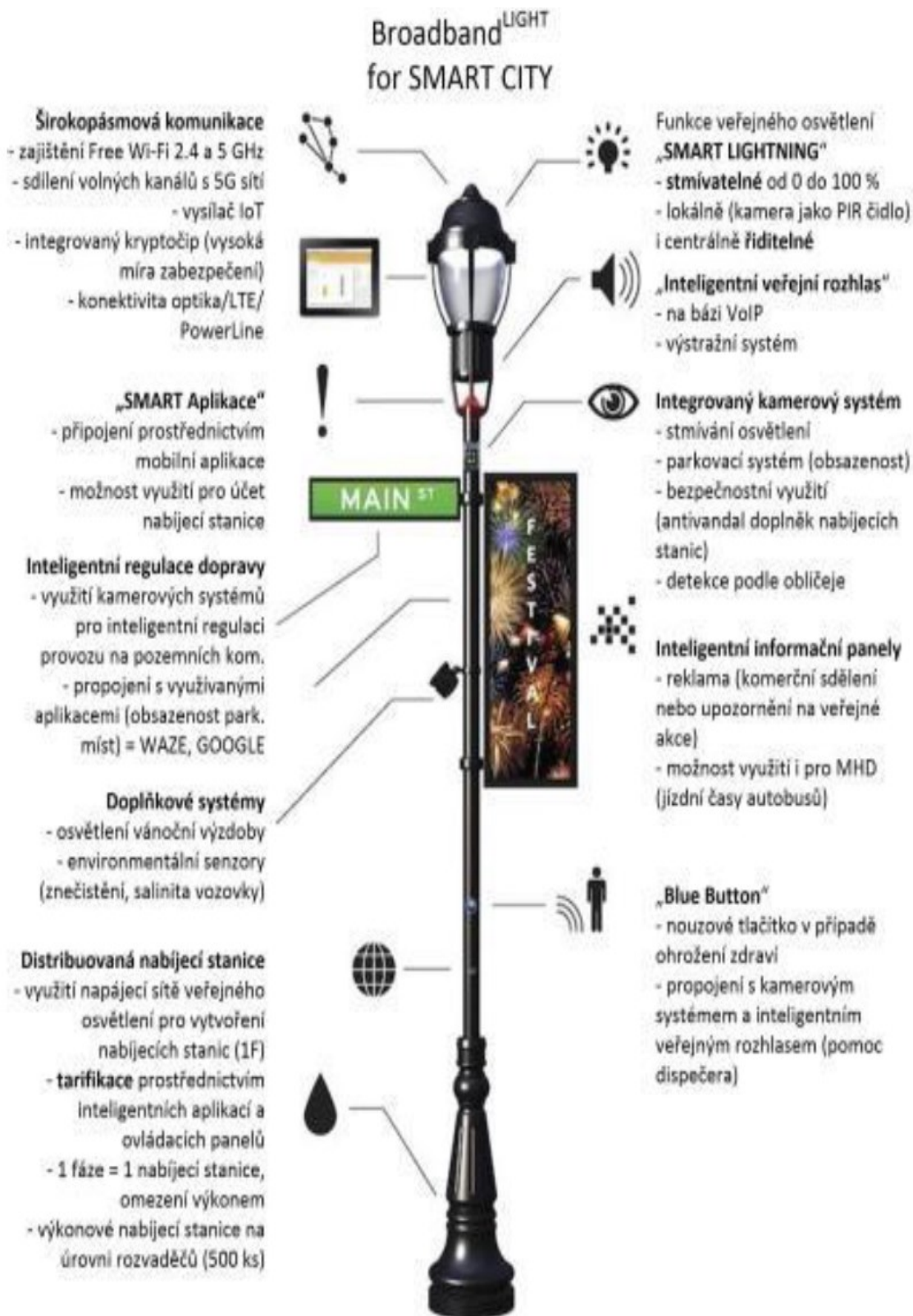
4. Internetové pripojenie na prenos dát. Aby bolo možné komunikovať pomocou internetu, dané prvky ako aj svietidlo, mali by byť vybavené s možnosťou pripojenia na ethernet sieť. Kvôli prenosu dát jedným smerom, DALI ani iné systému nespĺňujú požiadavky na prenos. Pokiaľ už použijeme iný systém, je potrebné ho vybaviť potrebným konvertorom na ethernet. Týmto spôsobom ale znižujeme množstvo inteligentných funkcií, ktoré môžeme použiť a nemáme spätné dáta od snímačov a ostatných prvkov.[29][35]

5. Riadiace centrum so softvérom na ovládanie, prispôsobenie a monitorovanie jednotlivých svietidiel alebo skupín svietidiel. Do riadiaceho centra prichádzajú dáta, ktoré sú potom uložené na serveroch alebo na cloude. Podľa počtu svietidiel a ovládacích jednotiek je treba prispôsobiť veľkosť úložiska (veľkým počtom inteligentných svietidiel je treba väčšie úložisko), aby boli potrebné dáta uchované a potom sa dalo pracovať s nimi na zlepšenie ovládania. [28][29]

6. Softvér a aplikácie pripojené k internetu.

Na zaobstaranie inteligentného osvetlenia sú dva spôsoby [29]:

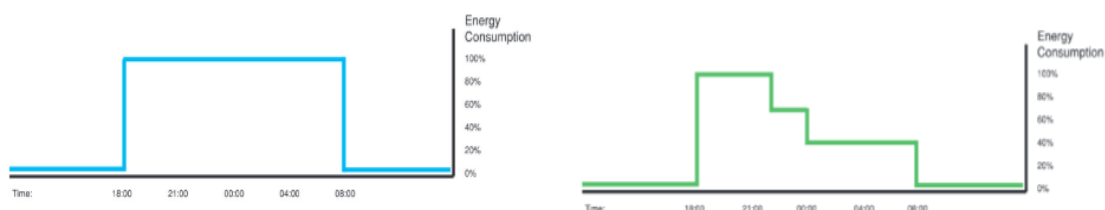
- Turn-key solution (riešenie na kľúč), kde jeden dodávateľ zaobstará regulovanie, pripojenie a kontrolný systém v integrovanom produkte. Niektorí dodávatelia začali zaobstarávať aj iné produkty k inteligentnému VO (verejnú Wi-Fi, senzory, atď.)
- Modulárne zaobstaranie, kde sa potrebné časti dodávajú samostatne. V tomto prípade je potrebné, aby jednotlivé časti mohli komunikovať navzájom.



Obr. 28 Inteligentný stožiar VO a jeho zariadenia [34]

Ako už bolo popísane v kapitole 1, LED majú výrazne väčšie výhody oproti vysokotlakovým sodíkovým výbojkám a používaním LED s inteligentným ovládaním nám dodáva ďalšie vyhody aj oproti samostatným LED svietidlám bez inteligentného ovládania, ako sú [29]:

- Väčšia energetická úspora, kde štúdium v Auckland Transport predpokladá úsporu ďalších 15% s LED na inteligentné ovládanie LED
- Znížením spotreby elektrickej energie, dochádza k zníženiu emisií skleníkových plynov
- Väčšia bezpečnosť nastavením správneho osvetlenia v nebezpečných zónach, počas núdzových udalostí, hluku alebo zvýšenej aktivity okolo svietidla
- Umožňuje pripájanie ďalších prvkov



Obr. 29 Znáznornenie spotreby energie pre LED osvetlenie bez inteligentného ovládania (vľavo) a LED s inteligentným ovládaním (vpravo) [29]

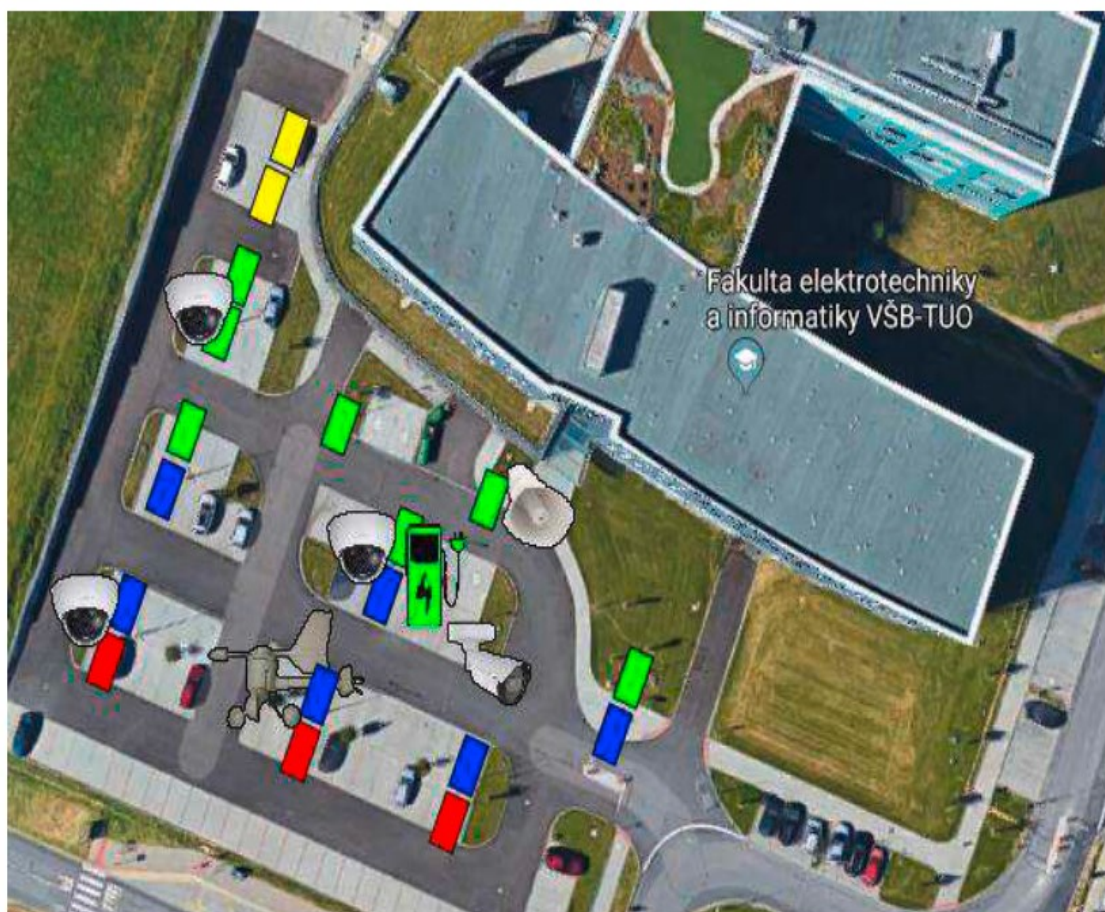
Veľkou nevýhodou je počiatočná cena, kde treba zahrnúť kompletnú výmenu stožiarov so svietidlom a ich prvkami, centrálny systém, pripojenie, hardware, aplikácie a inštalácia všetkých prvkov. Táto cena je časom vratná, podľa štúdií popísaných v [29] s uvedených výsledkov sa cena najneskôr vráti po 13 rokoch. Uvedená návratnosť je pre San Diego, kde bola náhrad s tradičných svietidiel (väčšinou vysokotlakové sodíkové výbojky) a nainštalované LED osvetlenie s pripojením cez ethernet, ovládacím systémom a iné inteligentné prvky. Sú tam ďalej popísané návratnosti za menej ako 13 rokov, uvádzajú sa aj neznáme dátumy návratnosti, u ktorých sú ale pozitívne výhody ako zníženie emisií a energie.[29]

4.2 Popis polygónu VŠB

Skúšobným polygónom BroadbandLIGHT je parkovisko za budovou Fakulty elektrotechniky a informatiky, ktoré ma 70 parkovacích miest. Úlohou tohto polygónu je testovanie osvetlenia s inteligentnými prvkami. Obsahuje 17 testovacích miest (10 stožiarov, 7 pozícií s 2 svietidlami, 3 svietidlá samostatne). Centralizovaný systém na riadenie, komunikáciu a monitorovanie sa nachádza v laboratóriu FEI a pre prenos dát sú použité elektrické vedenia, optické a mobilné siete. [34]

Na polygóne sú testované nové LED svietidlá od spoločnosti L2LED, s. r. o. Polygón obsahuje dve takéto svietidlá, ktoré sú pripojené priamo k sieti ethernet. Ďalej sú použité svietidlá: 3x Boss Naica, 5x Schreder Teceo, prechodové svietidlá 2x Schreder Teceo a 6x Thorn R2L2. Rozloženie svietidiel je na obrázku 30. Okrem svietidiel sú stožiare vybavené 4x IP kamery, meteostanica, tlaňač a nabíjačka na elektromobily.[35] [37]

BroadbandLIGHT prenáša dáta vysokorýchlostne pomocou svetelného lúča emitovaného LED čipmi, taktiež nazývané ako Li-Fi. Rovnako dokážu komunikovať aj auta, pomocou svetelného lúča zo svietidiel. [35]



Obr. 30 Polygón VŠB so svietidlami L2Led (žlté), Schreder Teceo (zelené), Thorn R2L2 (modré) a Boss Naica (červené) [36]

Tab. 9 Parametre použitých svietidiel na testovacom polygónu VŠB [37]

Parameter	L2Led	Schreder Teceo	Thorn R2L2	Boss Naica
Svetelný tok (lm)	8280	15410	11706	20640
Príkon (W)	46	124	91	167
Merný výkon ($lm \cdot W^{-1}$)	180	124	128	124
Teplota chromatičnosti (K)	3000	4000	4000	4000
Podanie farieb (-)	70	70	70	70
Účinnosť svietidla (%)	-	86	-	86



Obr. 31 Vľavo L2Led a vpravo Boss Naica [36][37]



Obr. 32 Vľavo Thorn R2L2 a vpravo Schreder Teceo [37]

5 Návrh osvetľovacej sústavy VO vybavené SMART prvkami

Používané prvky na polygóne VŠB prebrané s [36].

5.1 Popis prvkov

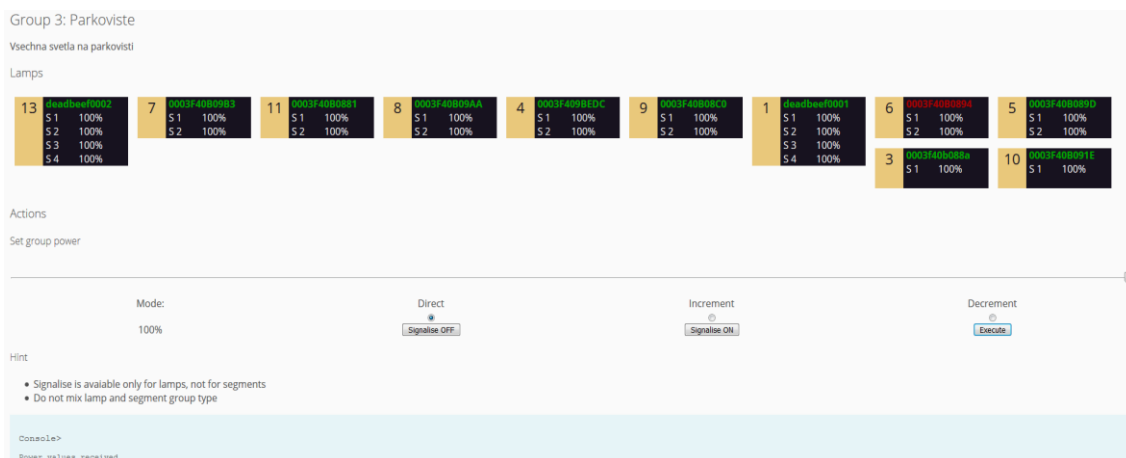
5.1.1 PC a server

PC a server sa nachádzajú v učebni EB 418. PC slúži ako riadiace centrum, ktorý obsahuje software v LabVIEW na meranie energetických veličín podľa ČSN 50 160.



Obr. 33 PC na ovládanie osvetlenia polygónu VŠB [36]

Ovládanie je vytvorené cez internetový prehliadač po zadaní IP adresy „10.0.0.1:8000“. Pri ovládaní cez internetový prehliadač je potrebné mať server. Server slúži ako databáza na zber dát, prevádzku web-serveru a komunikáciu svetidiel pomocou protokolu MQTT.



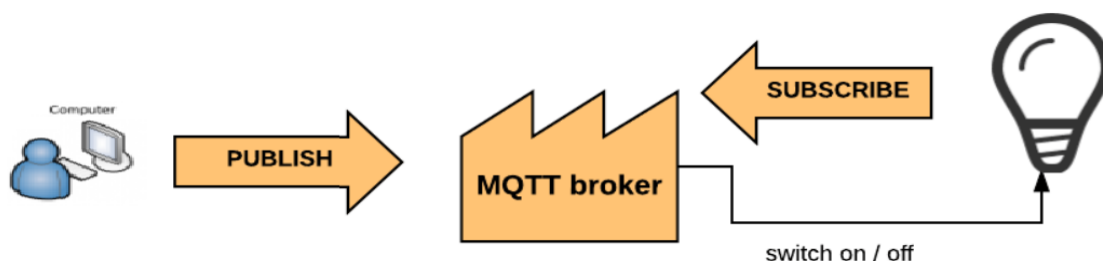
Obr. 34 Ukážka okna pre reguláciu osvetlenia polygónu

Na obrázku 34 sú naznačené pod „Lamps“ skupiny stožiarov s hodnotou výkonu, kde červene označené znamená, že došlo na 6 stožiarov k chybe. Pod „Actions“ je možné meniť hodnotu výkonu od 0% do 100%. Výkon je v tomto prípade nastavený na 100%, kde táto hodnota zodpovedá 100% svetelnému toku. Reguláciu nie je možné vykonávať individuálne pre jednotlivé stožiare alebo svietidlá na nich, ale len skupinovo všetky naraz.

Ďalej je možné nastaviť časový harmonogram spínania alebo regulácie. Riadenie polygónu VŠB je nastavené na spínanie v určitých časových oblastiach a nedochádza k regulovaniu výkonu. Ďalej je možné sledovať polygón VŠB cez kamery alebo Google maps. [36]

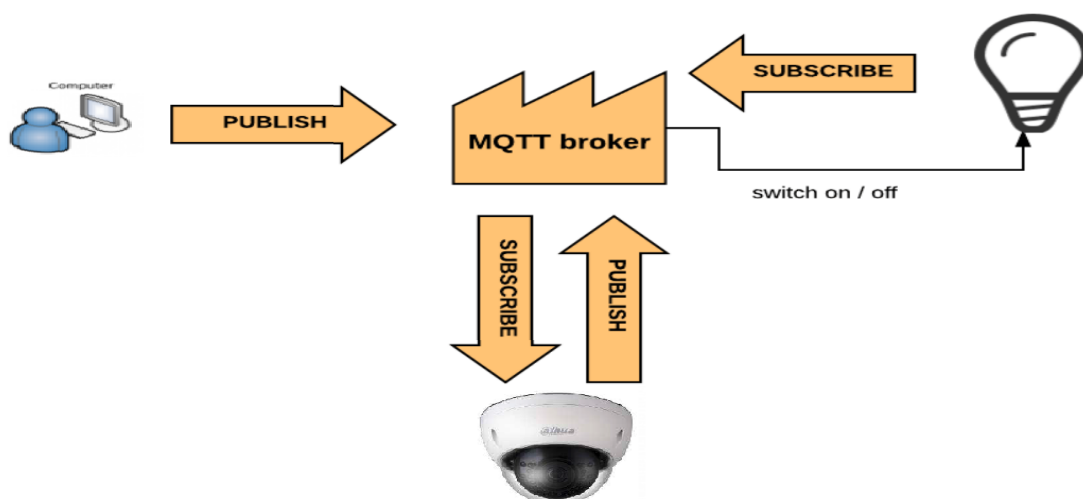
5.1.2 MQTT protokol

Ide o jednoduchý IoT komunikačný protokol. Komunikácia funguje na princípe prenosu správ (dát), kde MQTT broker je serverom. Na tento server prichádzajú správy zo zariadenia „publish“ a na server sú pripojené zariadenia, ktoré tieto správy dostávajú „subscribe“. [39]



Obr. 35 Jednoduchá schéma publish a subscribe [38]

Na obrázku 35 je schéma, ktorú je možné porovnať s ovládaním osvetlenia polygónu VŠB. Pomocou časového nastavenia na PC vo večerných hodinách má dôjsť k zapnutiu svietidiel, PC teda pošle správu „publish“, že má dôjsť k zapnutiu a táto správa je prenesená na MQTT broker. Na MQTT broker sú pripojené svietidlá, ktoré sú „subscribe“, a teda dostanú tieto správy, že má dôjsť k zapnutiu.

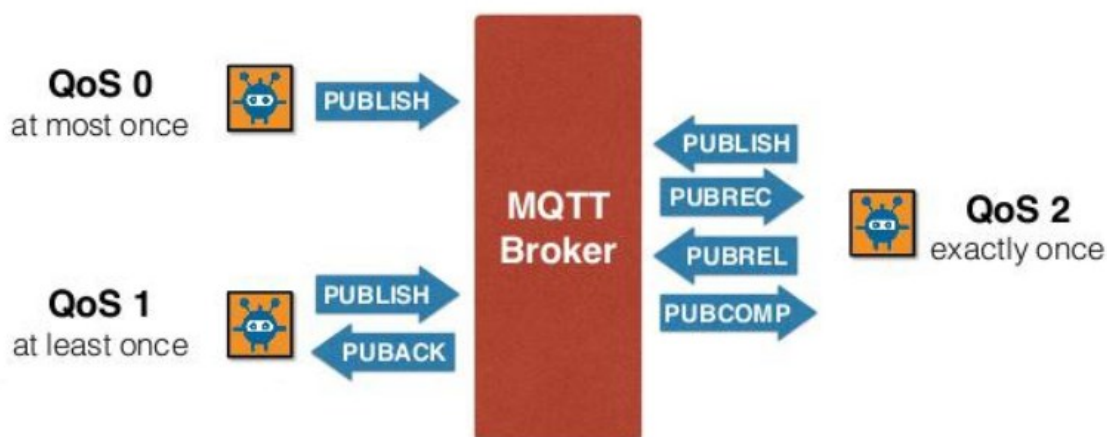


Obr. 36 Zložitejšia schéma publish a subscribe [38]

Na obrázku 36, okrem svietidiel a PC, sú pripojené kamery alebo senzory a v tomto prípade môžeme hovoriť o inteligentom regulovaní. Podobne ako pri obrázku 35, večer sa odošle správa a svietidlá sa zapnú, okrem svietidiel sú „subscribe“ aj kamery alebo senzory pohybu. Teraz ide o prípad, kedy na polygóne VŠB nedošlo dlhšiu dobu k nejakému pohybu alebo k obmedzenému pohybu, toto bude zaregistrované kamerami alebo senzormi pohybu. Následne sa odošle správa s danou informáciou „publish“ na MQTT broker, že nie je pohyb a svietidlá, ktoré sú „subscribe“ na MQTT broker, dostanú správu a môžu stmievať na určitú hladinu. Týmto by došlo k veľkej úspore bez rizika, pretože keby došlo k pohybu, bolo by to zaznamenané kamerami alebo senzormi a opakovalo by sa to isté, akurát by sa hladina stmievania zväčšila.

MQTT protokol prenáša správy okamžite a sú 3 úrovne potvrdenia správ QoS (kvalita servisu) [39]:

- QoS 0 je najnižšia úroveň a správy sú odoslané bez potvrdenia a nie je zaručené ich doručenie
- QoS 1 je stredná úroveň a hovorí, že správa o kontrole je doručená aspoň raz, čiže sa môže stať, že správy sú odoslané niekoľkokrát
- QoS 2 najvyššia úroveň a hovorí, že správa je doručená presne jedenkrát



Obr. 37 Úrovne potvrdenia správ QoS [39]

5.1.3 NI cDAQ 9185

Zariadenie slúži na synchronizovanie všetkých meracích zariadení do jedného systému, obsahuje 4 takéto sloty a pomocou LabVIEW nastavuje, analyzuje a zobrazuje meranie. Je vybavený ethernet pripojením, je ale možné pre iné typy aj WIFI alebo USB pripojenie. Tieto modely sa používajú s kombináciou C série I/O modulu, na vytvorenie kombinácií analógového I/O, digitálneho I/O a meracieho/časového merania. Pracovná teplota je od -40°C do 70°C . [41]



Obr. 38 NI cDAQ 9185 [41]

5.1.4 NI 9205

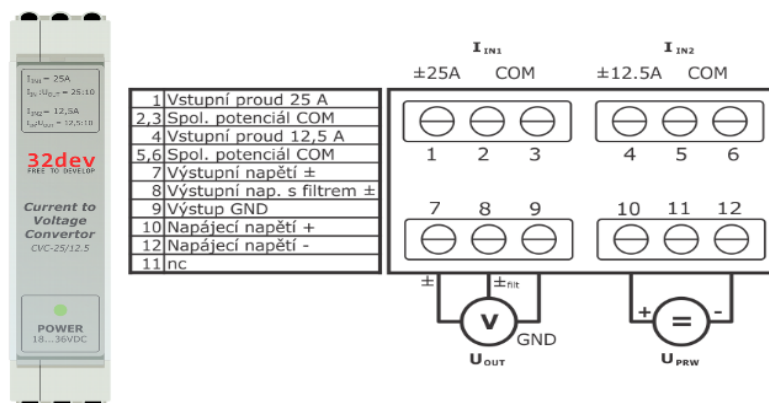
Model typu C série, ktorý sa pripája do CompactDAQ alebo CompactRIO, obsahuje kanály 32 jedno-koncové, 16 diferenciálnych, každý kanál má merací rozsah $\pm 200\text{ mV}$, $\pm 1\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$ a $\pm 10\text{ V}$, rozlíšenie 16-bit a maximálnu vzorkovaciu frekvenciou 250 kS/s. Ďalej má medzi vstupnými kanálmi a zemou (COM) prepäťovú ochranu $\pm 30\text{ V}$, dvojitú izoláciu medzi kanálmi a zemou, imunitu proti hluku a vysoký rozsah napätia. Na polygone VŠB je merací rozsah nastavený na $\pm 10\text{ V}$. [42]



Obr. 39 NI cDAQ NI 9205 [42]

5.1.5 Prúdové prevodníky CVC-25/12.5

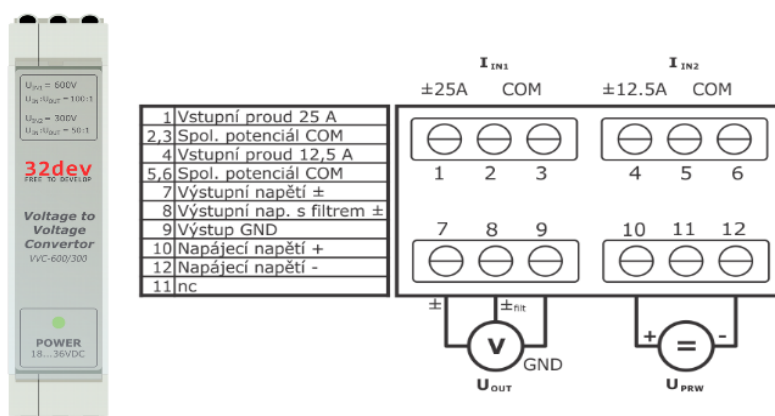
Modul na prevod vstupného prúdového signálu na požadovaný výstupný napäťový signál a je s ním možné bezpečne merať prúd, pretože má galvanický oddelený vstupný meraný signál, výstupný signál a napájanie. Vstupné meracie rozsahy sú 12,5 A a 25 A s preťažením až do 17 A, respektíve 36 A po dobu najmenej 10 s bez poškodenia. Medzi jeho výhody patrí meranie rovnomerných hodnôt až do 100 kHz, linearita v celom vstupnom prúdovom rozsahu, široký rozsah vstupného napájacieho napätia, nízka vlastná spotreba, nízka teplotná závislosť a možnosť výstupu s frekvenčným filtrom s maximálnou frekvenciou 2,5 kHz. [43]



Obr. 40 CVC-25/12.5 [43]

5.1.6 Napäťový prevodník VVC-600/300

Modul na prevod vstupného napäťového signálu na požadovaný výstupný napäťový signál a je s ním možné bezpečne merať napätie, pretože má galvanický oddelený vstupný meraný signál, výstupný signál a napájanie. Vstupné meracie rozsahy sú 300 V a 600 V s preťažením až do 500 V, respektíve 1000 V po neobmedzenej dlhej dobe bez poškodenia. Medzi jeho výhody patrí meranie rovnomerných hodnôt až do 100 kHz, linearita v celom vstupnom prúdovom rozsahu, široký rozsah vstupného napájacieho napätia, nízka vlastná spotreba, nízka teplotná závislosť a možnosť výstupu s frekvenčným filtrom s maximálnou frekvenciou 2,5 kHz. [44]



Obr. 41 CVC-25/12.5 [44]

5.1.7 Rozvádzače na stožiaroch

Každý stožiar má svoj vlastný rozvádzač pod výložníkom svietidla a obsahuje tieto zariadenia:

DALIpwr je zdroj pre napájanie zbernice DALI s napájacím rozsahom od 85 do 265 V. Maximálnu záťaž má 230 mA a slúži zároveň ako ochrana proti skratu a prepätiu. [45]



Obr. 42 DALIpwr [45]

DALInet je konvertorom s ethernet na DALI zbernicu, má dve funkcie: [47]

- Ovládanie a monitorovanie DALI zbernice nadradeným systémom
- Nastavovanie zariadení na DALI zbernici

DALInet môžu komunikovať medzi sebou alebo inými zariadeniami a aktívne posilať dáta na DALI zbernicu. Potom prepošle všetky dáta s DALI zbernice na nadradený systém a môže aj informovať o chybe dát, skratu na DALI zbernici alebo pripojenia sieťového napätia. [46]



Obr. 43 DALInet [46]

Router mikrotic 962UiGS je dvojpásmový router s gigabitovými portami, ktoré umožňujú plnú výhodu rýchlosti technológie 802.11 ac pri zachovaní kompatibility so staršími zariadeniami v režimoch 2 GHz 802.11 b/g/n a 5 GHz 802.11 b/g/n. Sú prepojené s DALInet, ktorým potom umožňuje komunikáciu s inými zariadeniami.[47]

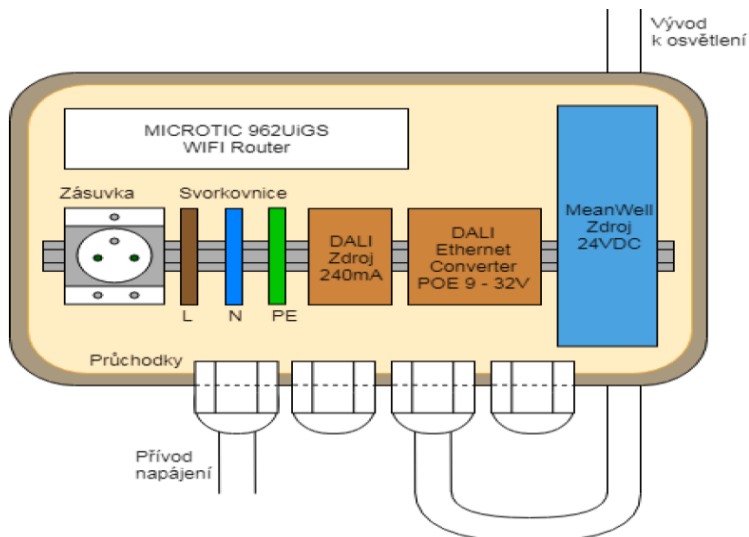


Obr. 44 Mikrotic 962UiGS [47]

EDR-120-24V MeanWell je zdrojom, ktorý napája zariadenia vo vnútri rozvádzača. Prúdový výstupný rozsah od 0 A do 5 A, s menovitým výkonom 120 W, rovnosmerným napätím 24 V a účinnosťou 87,5%. Ochrana proti preťaženiu do 130% menovitého výkonu (nabehne automaticky po odstránení poruchy) a prepätíu od 29 V do 33 V. [48]



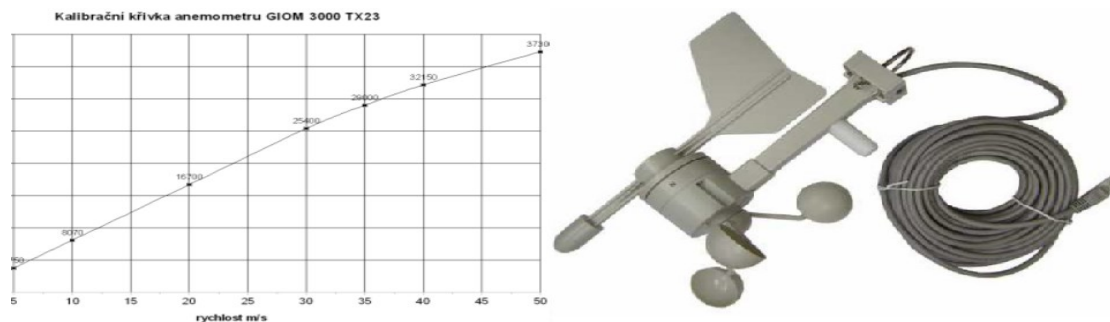
Obr. 45 EDR-120-24V MeanWell [48]



Obr. 46 Zapojenie uvedených zariadení v rozvádzači [36]

5.1.8 Meteostanice GIOM 3000

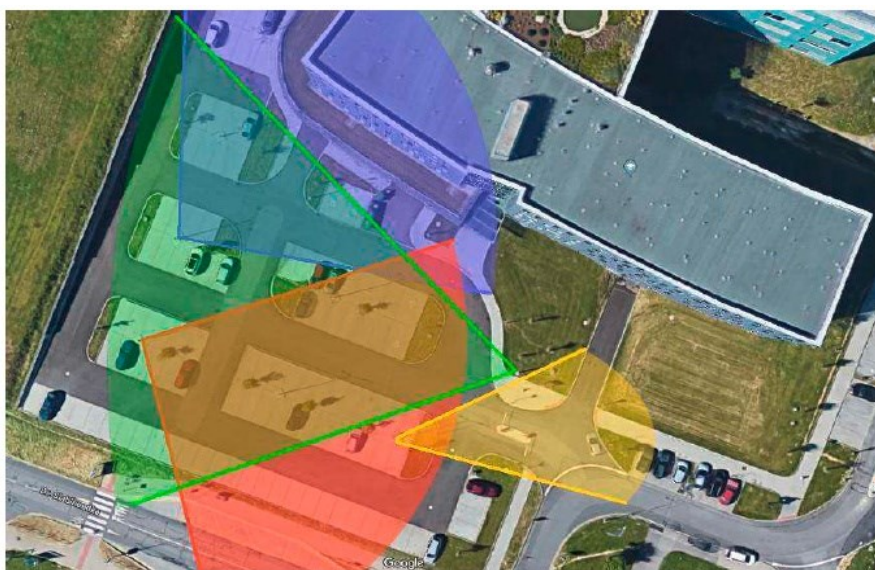
IP meteostanica ktorá ma pripojenie cez ethernet a získava údaje o počasi z internetu. Má implementovanú podporu Http, Telnet a SNMP protokolu. Systém meria tlak, vlhkosť, teplotu a na základe týchto parametrov počíta pocitovú teplotu, Beaufortovu stupnicu, rosný bod atď. [49]



Obr. 47 Kalibračná krivka a meteostanice GIOM 3000 [49]

5.1.9 Kamery

Polygón VŠB obsahuje 4 kamery, ktoré zaberajú takmer celú plochu parkoviska, ako je naznačené na obrázku 48. 3 kamery sú typu DAHUA IPC-HDBW1220E a snímajú parkovisko (červená, zelená a modrá krivka) a kamera AXIS P1435-LE, ktorá sníma vchod parkoviska (žltá krivka). [36]

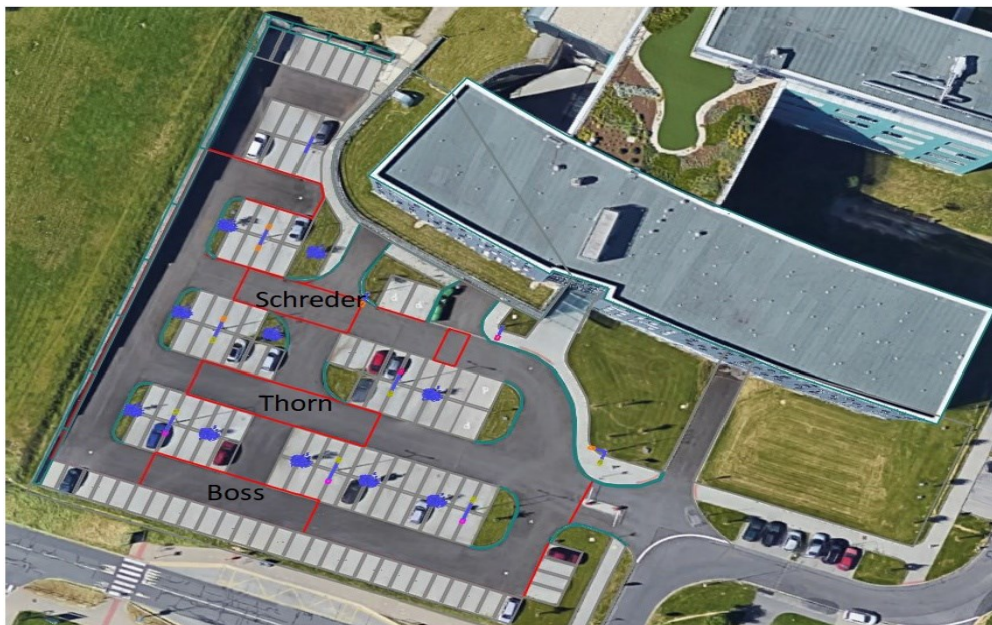


Obr. 48 Zorné krivky kamier [36]

Kamerový systém zatiaľ slúži len z hľadiska ochrany, v inteligentnom VO je ho však možné využiť aj na riadenie osvetlenia podľa hustoty premávky, zobrazovať informácie na inteligentných stožiaroch alebo póloch o obsadenosti parkoviska, zaznamenávať dáta do systému o ŠPZ automobilov a automaticky ich potom rozpoznávať, aby nebolo potrebné sa pri prevoze preukazovať preukazom. [29] [36]

5.2 Výpočet regulácie na polygóne VŠB

Podľa [37] boli prevedené výpočty jasů v troch úsekoch zobrazených na obrázku 49. Všetky tabuľky s výpočtami sú v exceli vložené do IS EDISON.



Obr. 49 Merané plochy polygónu VŠB [37]

Tab. 10 Súčasný počet svietidiel a ich príkon

Typ	Počet svietidiel, bez 1 stožiaru	Príkon 1 svietidla P (W)	Celkom P (W)
L2Led	2	46	92
Boss	2	167	334
Schreder	7	124	868
Thorn	5	91	455
			1749

V tabuľke 10 sú naznačené príkony použitých svietidiel a ich celkový príkon. Prepočet bude prevedený pre 9 z 10 stožiarov, pretože jeden stožiar obsahuje svietidlá Boss a Thorn nefunguje.

Tab. 11 Možnosti regulácie pre jeden úsek podľa triedy osvetlenia

Trieda osvetlenia	Boss P (%)	Boss L ($cd.m^{-2}$)	Schreder P (%)	Schreder L ($cd.m^{-2}$)	Thorn P (%)	Thorn L ($cd.m^{-2}$)
M1	84,75	2	64,52	2	61,54	2
M2	63,56	1,5	48,39	1,5	46,15	1,5
M3	42,37	1	32,26	1	30,77	1
M4	31,78	0,75	24,19	0,75	23,08	0,75
Max	100	2,36	100	3,1	100,00	3,25

Polygón VŠB je zaradený do triedy osvetlenia M1, preto bude podľa tejto triedy vypočítaná regulácia. V tabuľke 11 sú pre jednotlivé úseky polygónu VŠB navrhnuté regulačné možnosti podľa triedy osvetlenia M a ich minimálnom udržiavanom jase. Najhoršie je na tom úsek Boss, ktorý má najmenší udržiavaný jas $2,36 \text{ cd.m}^{-2}$, a tým je možnosť regulácie najmenšia. Kvôli tomuto dôvodu sa budem riadiť podľa úseku Boss pri návrhu regulácie všetkých úsekov na jednu regulačnú hladinu. Úsek L2Led nemá vypočítané hodnoty, budem teda predpokladať, že hodnota jasu je väčšia ako $2,36 \text{ cd.m}^{-2}$.

Tab. 12 Možnosť regulácie podľa úseku Boss

Trieda osvetlenia	L (cd.m^{-2})	P (W)	P (%)
M1	2	1482,20	84,75
M2	1,5	1111,65	63,56
M3	1	741,10	42,37
M4	0,75	555,83	31,78
Max	2,36	1749	100

Tabuľka 12 znázorňuje pokles príkonu podľa regulačnej hladiny na danej triede osvetlenia. Touto reguláciou by sme mohli ušetriť 15,25% (266,8 W) príkonu. Je potrebné však počítať s tým, že keď zmením všetky úseky na 84,75% príkonu, dôjde k poklesu osvetlenia na všetkých úsekoch, a tým aj k poklesu príspevku z vedľajšieho úseku. Úsek Boss sa nachádza na kraji polygónu, kde z jednej strany má príspevok z úseku Thorn a z druhej strany je cesta, tam sa stožiare VO nachádzajú za cestou. V tabuľke 13 bude teda prepočet na novú regulačnú hladinu s príspevkom úseku Thorn.

Tab. 13 Možnosť regulácie podľa úseku Boss s príspevkom Thorn

Trieda osvetlenia	L (cd.m^{-2})	P (W)	P (%)
M1	2	1502,67	85,92
M2	1,5	1148,91	65,69
M3	1	781,16	44,66
M4	0,75	591,75	33,83
Max	2,36	1749	100

V tabuľke 13 sa vplyvom zníženia príspevku z úseku Thorn zmenšila hladina možnej regulácie. Po nastavení regulácie na 85,92% príkonu na triedu osvetlenia M1, bude možné ušetriť o 14,08% (246,33 W) príkonu, pri hladine jasu na úseku Boss $2,03 \text{ cd.m}^{-2}$. Týmto bude splnená minimálna hodnota udržiavaného jasu pre triedu M1, a tým, že je splnená požiadavka pri najmenšej hladine na úseku Boss, budú splnené aj požiadavky pre Thorn $2,79 \text{ cd.m}^{-2}$ a Schreder $2,66 \text{ cd.m}^{-2}$.

Ďalší návrh bude pre reguláciu jednotlivých úsekov tak, aby zodpovedala minimálna hodnota udržiavaného jasu pre daný úsek. Túto reguláciu bez prepočítania poklesu príspevku je možné vidieť v tabuľke 11 a v tabuľke 14 budú tieto hodnoty prepočítané spolu s poklesom príspevku. Regulácia bude teda prevedená pre jednotlivé úseky zvlášť a v tomto prípade úsek L2Led môžeme nechať kvôli neznalosti údajov na 100% príkonu.

Tab. 14 Možnosť regulácie podľa jednotlivých úsekov a poklesu príspevku

Trieda osvetlenia	Boss P (%)	Boss P (W)	Schreder P (%)	Schreder P (W)	Thorn P (%)	Thorn P (W)
M1	87,75	293,08	66,60	578,09	67,04	305,02
M2	66,76	222,97	50,60	439,25	53,82	244,86
M3	45,15	150,82	34,18	296,72	38,59	175,60
M4	34,11	113,94	25,81	224,02	30,08	136,88
Max	100	334	100	868	100,00	455

V tabuľke 14 sú znázornené regulačné hladiny podľa danej triedy osvetlenia, hodnoty minimálnych udržiavaných jasov boli odobrané, je ich možné vidieť v predchádzajúcich tabuľkách a boli pridané sumy príkonov svetidiel daného typu. Týmto je možné vidieť, ako sa zmení hodnota s maximálneho príkonu tak, aby zodpovedala minimálnemu udržiavanému jasú na danom úseku.

V porovnaní hodnôt s tabuľkou 11, je vidno, že poklesom príspevku sa zmenšila hladina nožnej regulácie daného úseku. K najväčšej zmene došlo na úseku Thorn, kde regulácia poklesla o 5,5%. Dôvodom je pozícia úseku Thorn, ktorý je medzi úsekom Boss a Schreder. Tým, že oba úseky boli vyregulované na požadovanú hodnotu, došlo k poklesu príspevku z oboch strán a úsek Thorn musel príkon navýšiť tak, aby bola splnená minimálna udržiavaná hodnota jasú.

K druhej najväčšej zmene došlo na úseku Boss, pri ktorom došlo k zmene aj na rozdiel pri regulácii všetkých úsekov na jednu hladinu s prepočítaným príspevkom. Tento ďalší nárast je zapríčinený znížením príspevku na úseku Thorn z hodnoty 84,75% na 61,54%.

Úsek Schreder má príspevok len z jedného úseku, a tým, že je dostatočne osvetľovaný už na hodnote 100% príkonu, dochádza k najmenšej zmene.

Pri regulácii je potrebné dávať pozor na zmeny príspevku, z uvedených hodnôt je vidno, že tieto príspevky netvorí malú hodnotu, ale môže dôjsť aj k 5,5% zmene príkonu. Táto hodnota nie je malá a v prípade ignorovania alebo zlého prepočtu príspevkov, dôjde k nesplneniu požadovaného udržiavaného jasú na danej triede osvetlenia.

Tab. 15 Celkový príkon podľa danej regulácie

Trieda osvetlenia	Bez regulácie celkový P (W)	Regulácia celej sústavy na jednu hladinu má celkový P (W)	Regulácia jednotlivých úsekov zvlášť má celkový P (W)
M1	1749	1502,67	1268,20
M2	1749	1148,91	999,08
M3	1749	781,16	715,13
M4	1749	591,75	566,84

Tab. 16 Celkový rozdiel príkonu oproti neregulovanej hodnote vo W

Trieda osvetlenia	Regulácia celej sústavy na jednu hladinu má rozdiel P (W)	Regulácia jednotlivých úsekov zvlášť má rozdiel P (W)
M1	246,33	480,80
M2	600,09	749,92
M3	967,84	1033,87
M4	1157,25	1182,16

Tab. 17 Celkový rozdiel príkonu oproti neregulovanej hodnote v %

Trieda osvetlenia	Regulácia celej sústavy na jednu hladinu má celkovú úsporu P (%)	Regulácia jednotlivých úsekov zvlášť má celkovú úsporu P (%)
M1	14,08	27,49
M2	34,31	42,88
M3	55,34	59,11
M4	66,17	67,59

V tabuľke 15 je vidno pokles potrebného príkonu všetkých svietidiel pri regulácii podľa danej triedy osvetlenia. Tabuľka 16 popisuje tento rozdiel príkonov pri danej regulácii od celkového neregulovaného príkonu. Vidno, že k najväčšiemu rozdielu dochádza v triede osvetlenia M1 a postupne tento rozdiel medzi dvoma typmi regulácie klesá. Percentuálna úspora je v tabuľke 17, v ktorej takisto vidno pokles rozdielu medzi dvoma reguláciami.

Pre triedu osvetlenia M1, pod ktorú je polygón VŠB momentálne zaradený, odporúčam použiť reguláciu podľa jednotlivých úsekov, kde by bola úspora príkonu všetkých svietidiel 27,49%. Rozdiel medzi touto reguláciou a reguláciou celej sústavy na jednu hladinu je skoro dvojnásobný 13,41%.

Rovnaké odporúčanie mám aj pre ostatné triedy osvetlenia M2, M3 a M4, pretože reguláciou jednotlivých úsekov zvlášť dosahujeme väčšiu úsporu oproti regulácii na jednu hladinu. Rozdielom sa tu stáva ale účinnosť medzi týmito reguláciami. Trieda osvetlenia M1 má najväčšiu požadovanú hodnotu jasu a pre ostatné hodnoty postupne klesá. Tu s postupným poklesom jasu samozrejme rastie možnosť regulácie, ale s poklesom jasu klesá aj rozdiel medzi týmito reguláciami. Pri triede osvetlenia M1 je rozdiel 13,41% a pri triede osvetlenia M4 už je rozdiel len 1,42%.

Tu nastáva otázka danej sústavy a systému. Pokiaľ je sústava regulovaná len skupinovo, bolo by asi zbytočné nahradzovať prvky pre individuálnu reguláciu triedy osvetlenia M4 a M3. V tomto prípade by bolo treba vypočítať cenu za náhradu sústavy alebo prvkov a jej návratnosť. Samozrejme, keby sme počítali v desiatkach rokoch, tak sa oplatí aj úspora 1,42% navyše. Pre triedu M1 a M2, dochádza k oveľa väčším zmenám rozdielu medzi dvoma reguláciami a teda viac sa oplatí regulácia individuálna. V prípade polygónu VŠB je možné preprogramovať reguláciu podľa jednotlivých úsekov bez ďalších nákladov na sústavu alebo systém.

6 Vybrané merania v navrhnujej osvetľovacej sústave

6.1 Namerané osvetlenie

Meranie osvetlenia s [37]. Nameraná regulácia aj s osvetlením sú v exceli a vložené do IS EDISON.

Tab. 18 Osvetlenie pre úsek Boss

41,00	41,17	36,00	35,37	35,19	33,33	33,40	34,68	32,69	31,04
46,07	48,55	41,25	43,46	41,69	41,29	39,74	38,62	37,30	35,74
50,77	51,00	49,77	48,27	44,50	44,17	43,39	44,07	39,58	36,96
54,04	54,34	52,29	51,35	48,71	47,20	40,08	47,56	44,09	40,94
57,26	57,36	54,71	53,46	50,85	49,85	52,08	51,31	47,91	45,45
62,06	61,10	59,09	54,60	52,22	51,43	54,64	54,91	53,22	46,86

Emin	31,04	lx	Ep	46,18	lx	rovnosť E	0,67
			Lp	3,23	cd.m2	Korekčný činiteľ	0,73

Tab. 19 Osvetlenie pre úsek Boss s korekčným činiteľom

29,93	30,05	26,28	25,82	25,69	24,33	24,38	25,32	23,86	22,66
33,63	35,44	30,11	31,73	30,43	30,14	29,01	28,19	27,23	26,09
37,06	37,23	36,33	35,24	32,49	32,24	31,67	32,17	28,89	26,98
39,45	39,67	38,17	37,49	35,56	34,46	29,26	34,72	32,19	29,89
41,80	41,87	39,94	39,03	37,12	36,39	38,02	37,46	34,97	33,18
45,30	44,60	43,14	39,86	38,12	37,54	39,89	40,08	38,85	34,21

Emin	22,66	lx	Ep	33,71	lx	rovnosť E	0,67
			Lp	2,36	cd.m2	Korekčný činiteľ	0,73

Tab. 20 Osvetlenie pre úsek Schreder

60,00	52,83	51,84	56,43	58,43	59,15	65,03	67,87	69,64	64,56
50,50	51,92	54,68	55,25	57,81	62,52	67,15	71,70	72,95	69,08
51,07	50,10	54,14	57,63	60,23	64,04	65,10	71,64	73,56	70,75
50,72	56,43	52,75	57,53	58,11	62,25	67,51	63,65	81,95	70,93
50,86	48,62	54,13	53,62	58,71	60,85	66,52	68,60	71,32	66,26
50,84	48,34	51,89	55,65	57,80	61,59	61,84	67,15	63,70	58,23

Emin	48,34	lx	Ep	60,60	lx	rovnosť E	0,80
			Lp	4,24	cd.m2	Korekčný činiteľ	0,73

Tab. 21 Osvetlenie pre úsek Schreder s korekčným činiteľom

43,80	38,57	37,84	41,19	42,65	43,18	47,47	49,55	50,84	47,13
36,87	37,90	39,92	40,33	42,20	45,64	49,02	52,34	53,25	50,43
37,28	36,57	39,52	42,07	43,97	46,75	47,52	52,30	53,70	51,65
37,03	41,19	38,51	42,00	42,42	45,44	49,28	46,46	59,82	51,78
37,13	35,49	39,51	39,14	42,86	44,42	48,56	50,08	52,06	48,37
37,11	35,29	37,88	40,62	42,19	44,96	45,14	49,02	46,50	42,51

Emin	35,29	lx	Ep	44,24	lx	rovnosmernosť E	0,80
			Lp	3,10	cd.m2	Korekčný činiteľ	0,73

Tab. 22 Osvetlenie pre úsek Thorn

70,90	70,00	58,89	65,82	63,22	61,53	61,14	63,34	62,13	65,90
73,65	70,17	61,00	64,68	62,19	60,13	58,71	62,34	56,50	61,30
75,17	71,80	57,86	63,23	58,02	57,12	57,85	61,40	59,60	59,31
77,49	72,18	68,00	64,00	59,81	56,29	59,83	60,52	59,32	61,20
77,45	76,38	61,20	61,00	56,11	53,23	59,42	59,11	61,23	60,54
80,51	80,15	70,00	62,61	54,64	57,39	60,51	58,85	64,08	64,41

Emin	53,23	lx	Ep	63,54	lx	rovnosmernosť E	0,84
			Lp	4,45	cd.m2	Korekčný činiteľ	0,73

Tab. 23 Osvetlenie pre úsek Thorn s korekčným činiteľom

51,76	51,10	42,99	48,05	46,15	44,92	44,63	46,24	45,35	48,11
53,76	51,22	44,53	47,22	45,40	43,89	42,86	45,51	41,25	44,75
54,87	52,41	42,24	46,16	42,35	41,70	42,23	44,82	43,51	43,30
56,57	52,69	49,64	46,72	43,66	41,09	43,68	44,18	43,30	44,68
56,54	55,76	44,68	44,53	40,96	38,86	43,38	43,15	44,70	44,19
58,77	58,51	51,10	45,71	39,89	41,89	44,17	42,96	46,78	47,02

Emin	38,86	lx	Ep	46,38	lx	rovnosmernosť E	0,84
			Lp	3,25	cd.m2	Korekčný činiteľ	0,73

6.2 Nameraná regulácia

Tab. 24 Hodnoty údajov uvedených veličín pri regulácii výkonu

Hodnota stmievania výkonu v %	U (V)			I (A)			Power Factor		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
0	243,39	243,78	243,77	0,64	1,09	1,07	0,17	0,20	0,14
30	240,98	241,37	241,42	0,92	1,43	1,67	0,53	0,51	0,55
50	242,83	243,02	243,21	0,92	1,46	1,65	0,52	0,53	0,54
70	242,83	243,61	243,41	0,92	1,57	1,66	0,52	0,57	0,54
80	241,76	242,65	242,51	1,08	1,78	1,75	0,66	0,66	0,59
90	242,62	243,17	242,92	1,43	2,30	2,21	0,84	0,82	0,78
100	242,79	243,17	243,32	2,37	3,45	3,50	0,93	0,92	0,91

V tabuľke 24 sú zobrazené namerané hodnoty pre napätie, prúd a power factor v jednotlivých fázach pri regulácii výkonu. Napätie je merané cez napäťový prevodník pripojený k fáze F1 a zvyšné sú posunuté o $\pm 120^\circ$, ide o ideálnu napäťovú charakteristiku. [36]

K meraniu prúdu sú použité 3 prúdové prevodníky, ktoré sú zapojené ku každej fáze. Podľa hodnôt v tabuľke 24 sú jednotlivé prúdy rozdielne a táto nesymetria je spôsobená pripojením rôznych zariadení na jednotlivé fázy. S postupným rastom výkonu nám rastie aj prúd a potvrdzuje tvrdenie, že diódy sú riadené prúdom, toto je vidno aj na obrázku 55, kde rastie amplitúda prúdu, ale napätie je rovnaké. V prvom riadku je hodnota výkonu 0%, a teda svietidlá sú vypnuté, hodnoty ale stále ukazujú nameraný prúd, tento prúd je odoberaný inteligentnými zariadeniami osvetľovacej sústavy. [36]

Power factor je účinník, a teda popisuje premenu zdanlivého výkonu na užitočný výkon, a to je činný výkon. Pri výkone 0% majú inteligentné zariadenia veľmi malý power factor, a teda neúčinnú premenu, najlepšie to je vidno v tabuľke 25, kde činný výkon je takmer 6 krát menší ako jalový výkon. Pri zapnutí osvetlenia sa power factor zväčšil na hodnotách od 30% do 90%, ale ich hodnota je stále malá a v niektorých prípadoch kolíše. Najlepšie kompenzovanie je pre 100%, pretože za dobre kompenzovanú sústavu sa považuje sústava s power factorom viac ako 0,9. Je vidno aj na hodnotách v tabuľke 25, kde hodnoty činného výkonu sú väčšie ako u jalového. Kompenzovať power factor je možné na hodnotu 0,95.

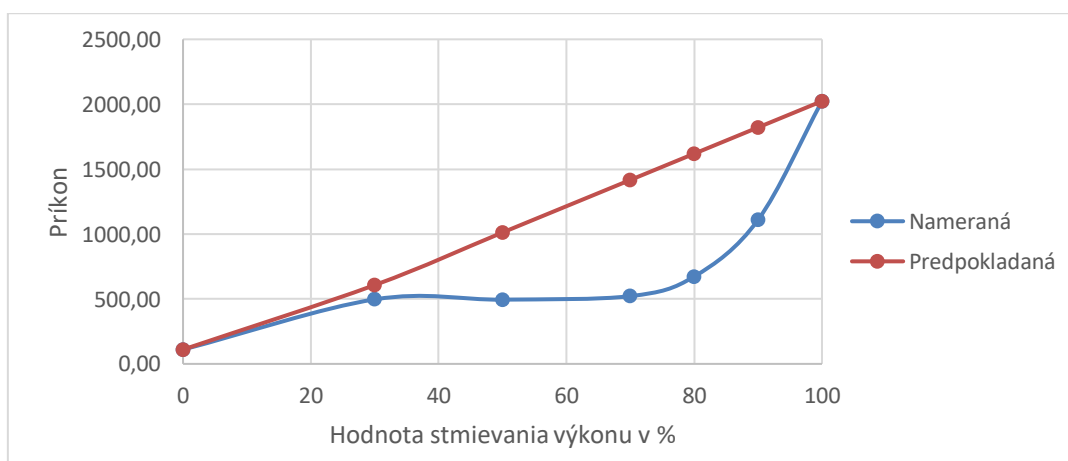
Tab. 25 Hodnoty údajov uvedených veličín pri regulácii výkonu

Hodnota stmievania výkonu v %	P (W)				Q (var)				S (VA)			
	F1	F2	F3	Celkom	F1	F2	F3	Celkom	F1	F2	F3	Celkom
0	25,86	49,88	34,54	110,28	-145,56	-240,50	-248,29	-634,35	147,84	245,62	250,68	644,14
30	114,19	169,47	213,19	496,85	-182,28	-284,03	-325,86	-792,16	215,09	330,75	389,40	935,25
50	111,04	175,59	208,16	494,79	-184,12	-284,23	-327,01	-795,36	215,02	334,09	387,64	936,75
70	111,42	201,41	209,12	521,95	-184,64	-290,82	-329,04	-804,50	215,66	353,75	389,87	959,28
80	162,91	265,88	244,02	672,81	-184,07	-302,51	-331,18	-817,76	245,81	402,74	411,37	1059,92
90	278,84	423,46	407,27	1109,58	-182,32	-299,03	-324,55	-805,91	333,16	518,40	520,78	1372,34
100	526,01	737,69	760,22	2023,92	-201,10	-313,58	-342,67	-857,35	563,14	801,58	833,88	2198,60

V tabuľke 25 sú namerané príkony pri regulácii výkonu. S rastúcou reguláciou rastie aj príkon/výkon, na hodnotách 30% a 50% výkonu je dobre vidno účinok kolísajúceho power factoru, kde zdánlivý príkon rastie, ale činný príkon pre 50% má menšiu hodnotu ako pre 30%, táto hodnota je zapríčinená menším power factorom. Znamienko mínus pri jalovom príkone symbolizuje kapacitnú záťaž.

Pri 0% je zaznamenaný príkon potrebný na prevádzku inteligentných zariadení a dokopy tvorí 110,28 W. Celkový príkon sústavy pri 100% je 2023,92 W a v tabuľke 10 sú zaznamenané hodnoty príkonu všetkých svietidiel, ktorý je 1749 W. Rozdiel medzi týmito dvoma hodnotami je 274,92 W a odčítaním príkonu inteligentných zariadení dostaneme príkon 164,64 W a táto hodnota popisuje vlastnú spotrebu zariadení potrebnú na prevádzku sústavy pri 100% výkone.

Pri 100% výkone je hodnota činného príkonu 2023,92 W a pri 90% je to 1109,58 a teda matematicky tieto hodnoty nesedia. To isté platí aj pre ostatné výkony a prúd. Znázornenie je na obrázku 50, kde modrou čiarou je stmievanie podľa nameraných hodnôt a červenou čiarou je znázornený predpokladaný matematický prepočet podľa maximálneho výkonu. Výkon pri 0% stmievania sa nezmenil, keďže ide o výkon inteligentných zariadení.



Obr. 50 Graf zmeny výkonu pri stmievaní

Predpokladaná charakteristika je znázornená lineárne, samozrejme že v skutočnosti to takto nemusí byť, ale hodnoty pri percentuálnej zmene by mali byť blízke tejto. Po konzultácii s pánom Šoustkom, ktorý pracuje s touto reguláciou, celková vlastná spotreba aj s inteligentnými prvkami by mala byť niečo pod 300 W na jednej fázy. Podľa mojich výpočtov popísaných na predchádzajúcej strane je potrebný príkon na celú prevádzku 274,92 W, a teda podelením celkovej vlastnej spotreby troma, dostaneme 91,64 W na 1 fázu. Táto hodnota podľa tvrdenia nesedí, podľa môjho názoru by mohla byť dostačujúca.

Zhodnotením podľa daných údajov a môjho úsudku vychádza, že regulácia nefunguje pravdepodobne tak, ako by mala a len hodnoty pri 0%, 30% a 100% výkone môžu byť dobré.

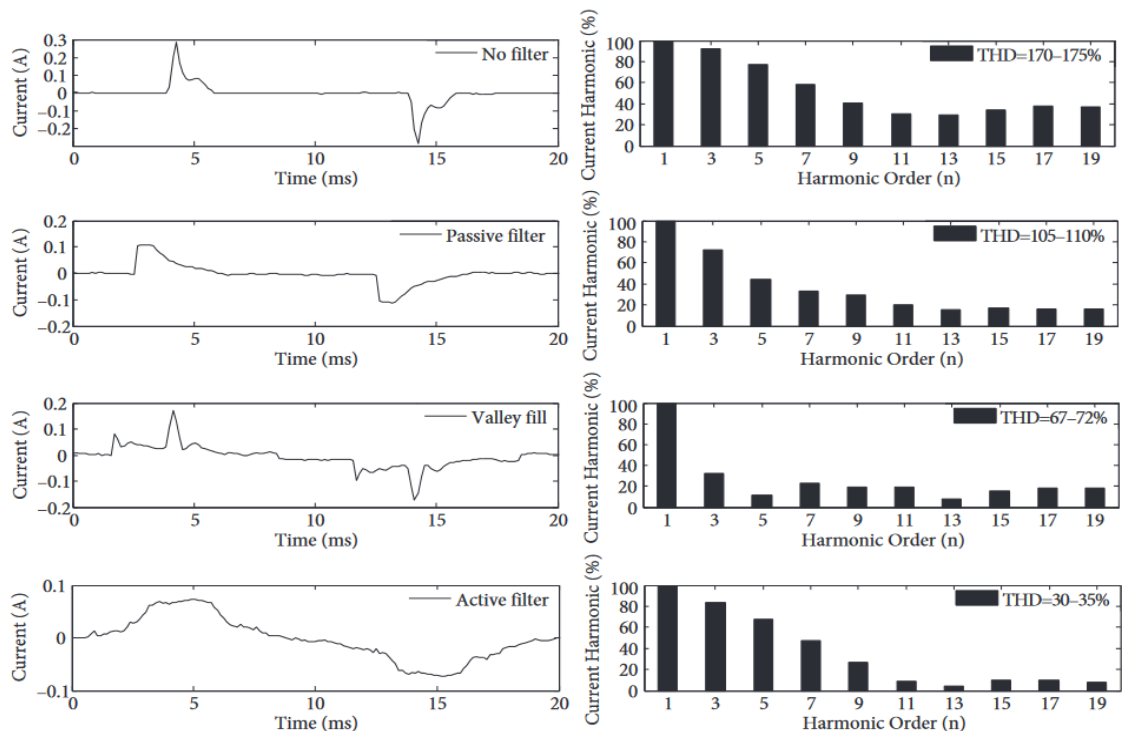
Tab. 26 Hodnoty údajov uvedených veličín pri regulácii výkonu

Hodnota stmievania výkonu v %	UTHD (%)			ITHD (%)		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
0	1,96	1,90	2,12	35,74	41,01	31,40
30	1,99	2,09	2,09	26,57	28,97	26,60
50	1,97	2,08	2,14	26,13	34,93	27,06
70	2,04	1,98	2,08	26,28	42,45	26,66
80	1,80	1,85	1,83	35,12	39,02	25,67
90	1,84	1,71	1,92	28,32	40,48	26,10
100	1,98	1,80	2,09	21,92	30,95	21,30

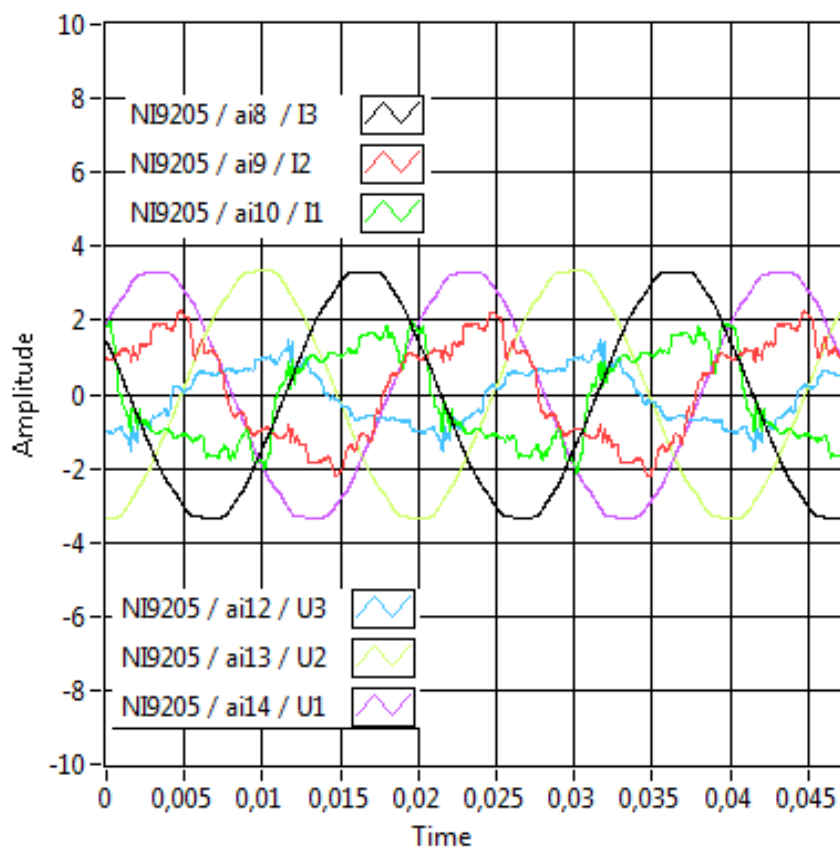
THD popisuje harmonické skreslenie sínusoidy spôsobené pripojenými zariadeniami a v osvetlení majú na THD vplyv hlavne elektronické predradníky (driver). Pri jednej LED toto skreslenie nie je vidno, ale zmeny nastávajú pri viacerých LED, a tým aj viac potrebného prúdu na prevádzku. Túto hodnotu ovplyvňuje aj power factor, čím väčší je power factor, tým menšie je THD a opačne. Pri porovnaní ITHD s power factorom toto tvrdenie platí.

Grafické znázornenie harmonických je na obrázku 54. Podľa maximálnych pikov sa tu ťažko odčítavajú presne hodnoty, ale je možné ich odčítať približne a vypočítať THD podľa ČSN 50 160. ITHD 70% je približené na obrázku 53, kde je možné najlepšie porovnať s tabuľkou 26. Tam piky 2 fázy vyskakujú a majú skreslenie 42,45%, piky 1 a 3 fázy sú oveľa menšie, a tým aj menšie skreslenie.

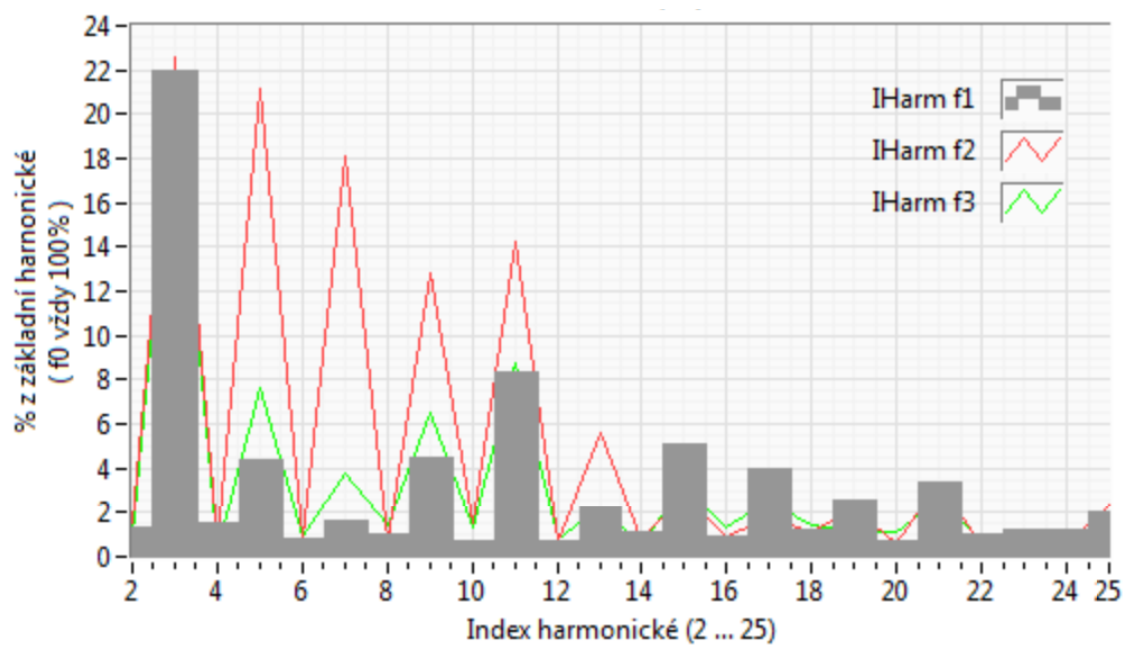
Na obrázku 55 sú znázornené amplitúdy, kde pri napäťovej sínusoide je malé skreslenie, a teda sínusoidu je pekne vidno. Pri prúdovej amplitúde je skreslenie väčšie a maximálna hodnota je 42,45%, ktorá je približená na obrázku 52. Je tu ale aj tak stále vidno pri tomto skreslení celú polovičku a črty sínusoidy. Dochádza tu ale k zlému popisu, fáza I3 je naznačená v legende čiernou farbou, ale v amplitúde je čiernou naznačené napätie. Najhoršie je modrá čiara a teda asi I2, ostatné I1 a I3. V prípade, ako je naznačené na obrázku 51, môže skreslenie byť väčšie ako 170%, tu už nie je možné rozoznať, že ide o sínusoidu. [50]



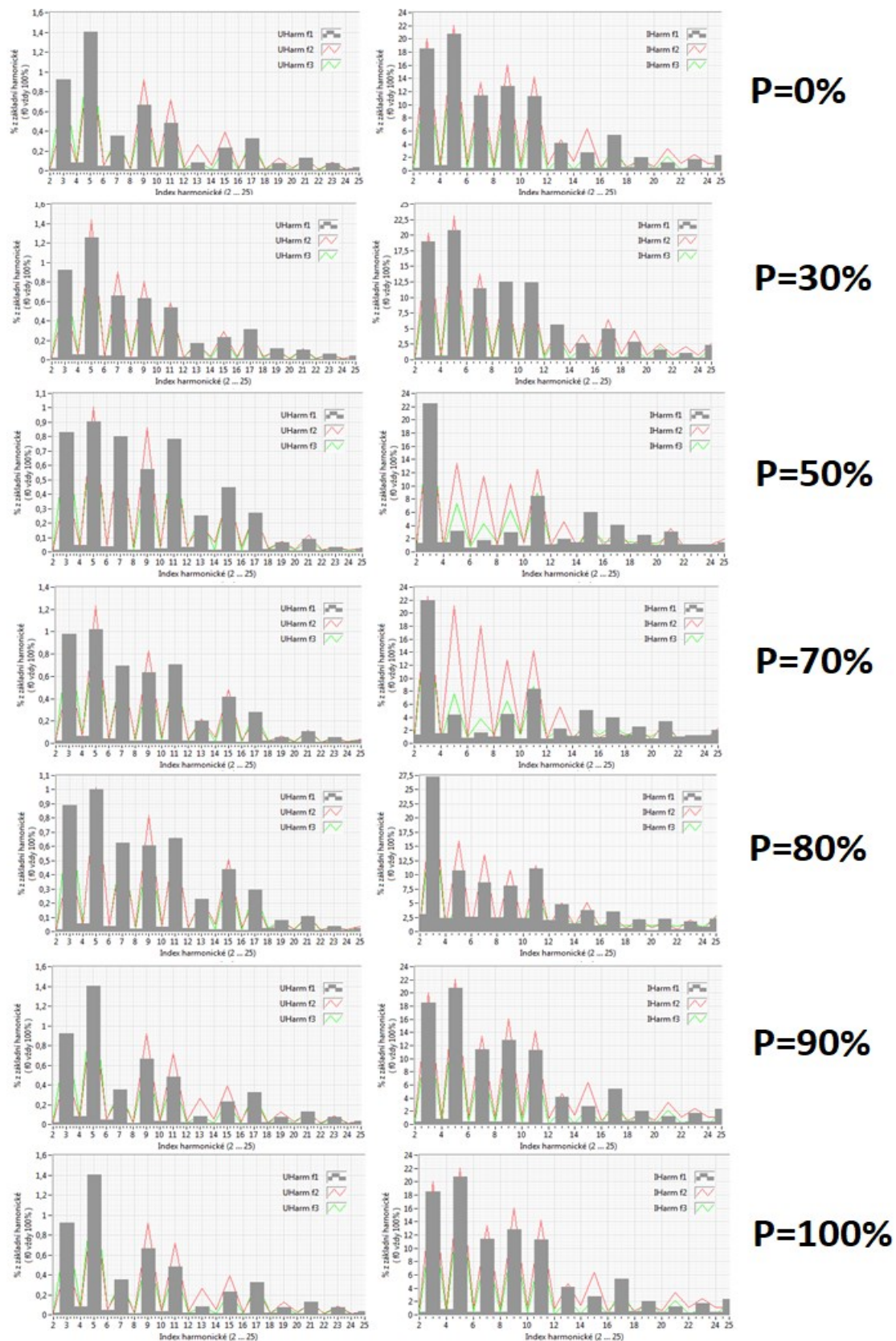
Obr. 51 Príklady harmonického skreslenia [50]



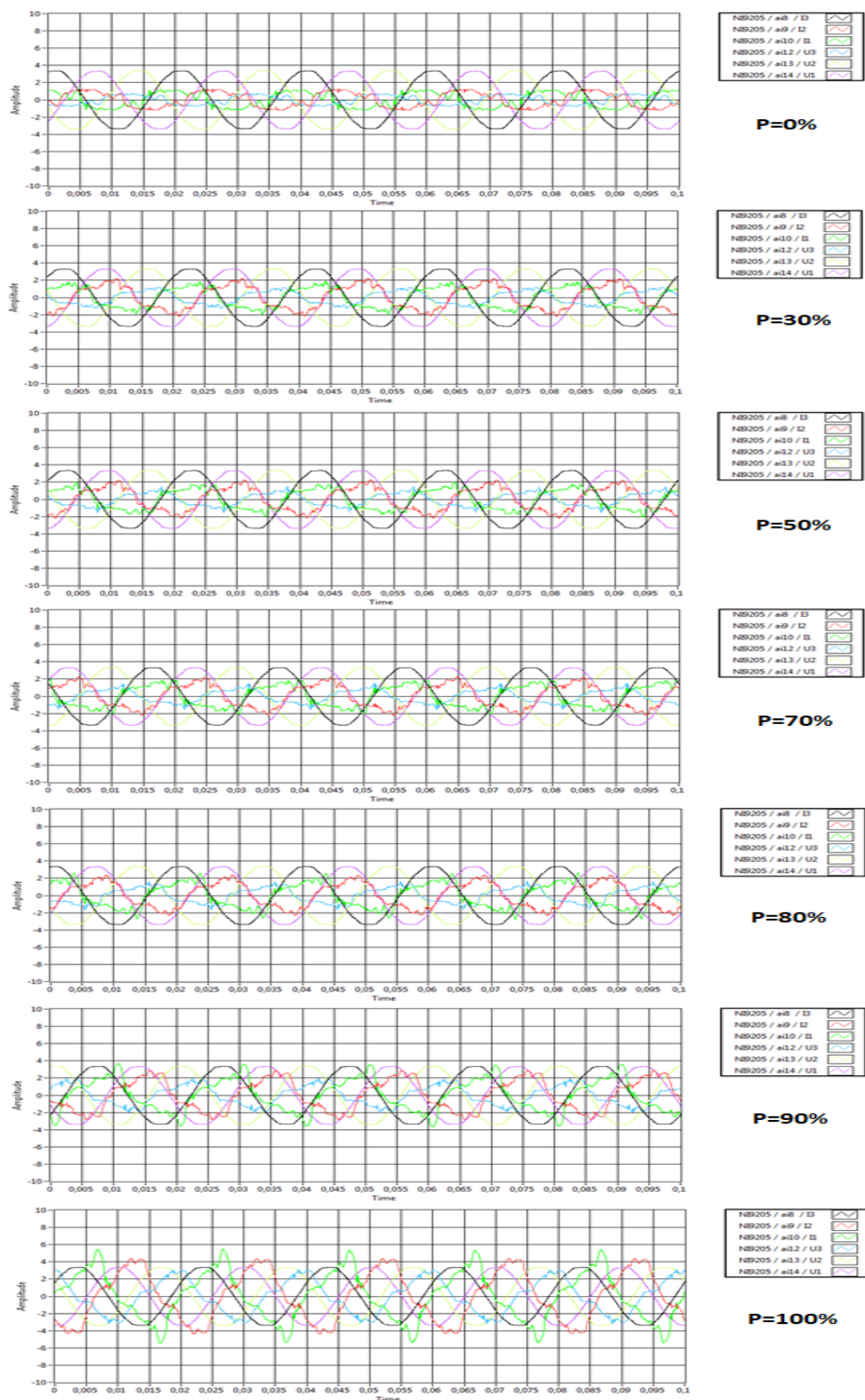
Obr. 52 Amplitúdové priblíženie U a I pri 70% výkone



Obr. 53 Harmonické približenie U a I pri 70% výkone



Obr. 54 Vľavo harmonické spektrum napätia a vpravo harmonické spektrum prúdu



Obr. 55 Grafy amplitúd

Záver

Tato diplomová práca mala 6 bodov. Prvé 4 sa zaoberali teóriou a posledné 2 reguláciou a meraním polygónu VŠB.

V prvom teoretickom bode som popisoval osvetľovaciu sústavu a čo všetko obsahuje. Sú tam popísané svetelné zdroje, svietidlá, stožiare, kabeláž a všetko to, čo to obsahuje. Popis svetelných zdrojov som sa snažil spracovať stručne a nepopisoval som veľa, zaoberal som sa hlavne porovnaním LED a sodíkových vysokotlakových výbojok, kde LED sú stále vo vývoji a začínajú pomaly nahrádzať sodíkové vysokotlakové výbojky vo VO.

V druhom teoretickom bode som popisoval parametre súvisiace s VO, na ktoré sa kladie dôraz. Na základe týchto parametrov sa vyberajú svetelné zdroje a podľa noriem ČSN EN 13 201, sa navrhuje VO tak, aby boli splnené ich požiadavky. Táto norma je rozdelená do 5 častí, kde okrem požadovaných hodnôt danej triedy osvetlenia popisujú, ako vybrať triedu VO, merať VO a počítať energetickú náročnosť VO.

V tretom teoretickom bode som popisujem stmievanie. Na začiatku boli hlavnými zdrojmi výbojky, ktoré boli riadené napätím. S príchodom LED sa stmievanie zmenilo, bolo potrebné hodnoty zmeniť na menšie hladiny a na rozdiel od výbojok, sú LED riadené prúdom. V tomto bode sú teda popísané možnosti regulácie výbojok a niektoré možnosti stmievania LED.

V štvrtom bode som sa začal zaoberať inteligentným VO. Inteligentné VO by nám malo zaručiť bezpečnosť, komfort a malo by hlavne inteligentne riadiť osvetlenie, a tým znížiť cenu na prevádzku. K tomu slúži IoT a inteligentné prvky, ktoré sú znázornené na obrázku 28. Ku koncu štvrtej kapitoly je popísané rozloženie, typ a počet jednotlivých svietidiel na polygóne VŠB, ktorý obsahuje niektoré inteligentné prvky.

Hlavnou úlohou tejto diplomovej práce bolo popísať všetky prvky polygónu VŠB, navrhnuť reguláciu a zmerať reguláciu, tieto body sú popísané v piatom a šiestom bode. Regulácia polygónu VŠB je v terajšej dobe nastavená len na časové spínanie vyp/zap, a teda 0%/100%, zároveň je aj nastavená na reguláciu výkonu všetkých svietidiel na jednu hladinu. Výpočtom som pre tento typ regulácie zistil, že by bolo možné regulovať na hodnotu 85,92% príkonu, dodržať minimálny jas $2\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ pre triedu M1, a tým mať úsporu 14,08% príkonu. Výpočet sa riadil podľa úseku Boss, kde je najmenšia udržiavaná hodnota jasu. Úsek L2Led nebol meraný a je teda predpoklad, že má väčšiu hodnotu jasu pri tomto návrhu ako úsek Boss.

Ďalší návrh je stmievanie úsekov Boss, Thorn a Schreder realizovať jednotlivo a nie všetky na jednu hladinu. Tento návrh ukazuje možné regulačné hodnoty pre úseky v tabuľke 14, kde regulácia pre triedu osvetlenia M1, má nastavenú hodnotu úseku Boss na 87,75% príkonu. Hodnota regulácie poklesla vplyvom regulovania úseku Thorn na 67,04% príkonu a následným poklesom príspevku z úseku Thorn na Boss. Úsek Schreder je vyregulovaný na 66,6% príkonu a úsek L2Led bol nechaný na 100% príkonu. Nastavením týchto hodnôt je možné získať úsporu 27,49% príkonu na triede osvetlenia M1. Pri tejto regulácii, je úsek Thorn vplyvom poklesu príspevku potrebné vyregulovať najviac, keďže sa nachádza v strede medzi úsekom Boss

a Schreder, tým má príspevok z oboch strán. Príspevok je v tomto prípade dosť dôležitý kvôli zachovaniu požadovanej hodnoty jas. Rozdiely príkonu bez regulácie, reguláciou celej sústavy na jednu hladinu a jednotlivých úsekov sú v tabuľke 15, 16 a 17. Kde v každom prípade je regulácia jednotlivých úsekov úspornejšia oproti regulácii na jednu hladinu a jej rozdiel medzi týmito dvoma reguláciami je 13,41% pre triedu osvetlenia M1. Postupne tento rozdiel klesá s požadovaným jasom. Pri triede osvetlenia M4 je potrebný minimálny jas $0,75\% \text{ cd.m}^{-2}$, obe regulácie majú úsporu viac ako 60%, ale rozdiel medzi dvoma reguláciami je len 1,42%. Týmto môžem skonštatovať, že regulácia sústavy sa oplatí vždy, ale s klesajúcim jasom klesá aj rozdiel medzi týmito dvoma reguláciami.

Najväčšou úsporou by bolo použiť inteligentnú reguláciu, ktorá by bola regulovaná pomocou kamier. Pri nočných hodinách, keď nedochádza k žiadnemu pohybu, by mohli byť svietidlá aj vypnuté, alebo stmievané na 50%. Po zaznamenaní pohybu by sa zapli na takú úroveň, aby zodpovedali triede osvetlenia.

Centrum regulácie sa nachádza v budove FEI, laboratóriu EB 418. Tu bolo prevedené regulovanie podľa niektorých hladín a následne boli hodnoty zapísané v dokumente. Namerané hodnoty v tabuľkách sú ale pravdepodobne zlé. Matematický tieto hodnoty vôbec nesedia pre výkon ani prúd, ktorým sú LED riadené. Pri navrhovaní výpočtu podľa počtu svietidiel a ich príkonu mi vyšlo, že by bolo možné regulovať celú sústavu na jednu hladinu 85,92% príkonu. Pri tejto hodnote regulácie by bol na triede osvetlenia M1 dostatočný jas, a tým by bolo možné dosiahnuť úsporu. Porovnaním vypočítanej hodnoty s nameranými však vôbec nesedia a vypočítaný príkon pre 85,92% je oveľa väčší ako príkon nameraný pri hodnote 90%.

S nameraných a vypočítaných hodnôt môžeme teda usúdiť že hodnoty namerané sú neni správne. Pri meraní sa hodnoty mali zapisovať po jednej hodine a po dvoch hodinách mali byť namerané hodnoty pre flickr, tieto merania ale boli neúspešné kvôli tomu, že program neustále padal a vyhadzoval chybu "nedostatok pamäte". K tejto chybe dochádzalo počas merania, ale nemalo by mať vliv na namerané hodnoty. Pri meraní hodnôt regulácie výkonu na 30% a 50% trvalo meranie viac ako jednu hodinu a potom to padlo, následne bolo niekoľko neúspešných meraní, kde sa nepodarilo dostať žiadne údaje. Meranie bolo teda prednastavené na zápis hodnôt po 10 minútach, hodnoty pre flickr aj tak nebolo možné získať, pretože meranie flickrov sa dá zapísať len po dvoch hodinách.

Chyba merania mohla byť v meracích zariadeniach. Pokiaľ by došlo k tejto chybe, boli by ale aj ostatné hodnoty zlé. Ďalšou možnou chybou je zlé nastavené regulovanie, kde môže dochádzať buď k zlému prepočtu výkonu na percentá, alebo program MQTT posielal zle správy pre svietidlá.

Na záver odporúčam nastaviť polygón VŠB na reguláciu podľa jednotlivých úsekov. Zdôrazňujem, že výpočet je bez jedného stožiaru, obsahujúci Boss a Thorn svietidlo, a teda dokopy 100% príkon týchto dvoch svietidiel je $167 + 91 = 258 \text{ W}$. V prípade, že sa chyba opraví, je tento príkon treba pripočítať. Pri regulácii všetkých úsekov na jednu hladinu nedôjde k percentuálnej zmene usporí, ale pri regulácii podľa jednotlivých úsekov dôjde k menšiemu poklesu úspory.

Použitá literatura

- [1] K. SOKANSKÝ a spol.: *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04941-9
- [2] K. SOKANSKÝ a kolektiv: *Metodické pokyny pro sjednocení požadavků na obnovu veřejného osvětlení* [online]. Ostrava 2013.
http://www.csorsostrava.cz/publikace/Metodicke_pokyny_%20pro_VO/Metodicke_pokyny_pro_VO.pdf
- [3] SEVEn Energy s.r.o.: *Metodika EPC projektů pro veřejné osvětlení* [online]. Praha 2017.
<http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2018/Metodika-EPC-projektu-pro-VO-web.pdf>
- [4] Debra Kennaugh, P.E.: *Roadway Lighting Design* [online]. 2017. ODKAZ TU
<https://www.cedengineering.com/userfiles/Roadway%20Lighting%20Design.pdf>
- [5] Ing. Josef Košťál: *Kompaktní zářivky aneb co o nich (ne)víme* [online]. redakce Elektro 2010.
<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/kompaktni-zarivky-aneb-co-o-nich-ne-vime--10679>
- [6] Ing. Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky* [online]. S Lamp s. r. o., Panenské Břežany 2008.
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-vysokotlake-rtutove-vybojky-smesove-vybojky--15927>
- [7] Ing. Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – halogenidové výbojky (část 1)* [online]. S Lamp s. r. o. Panenské Břežany 2009.
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-halogenidove-vybojky-cast-1--15578>
- [8] SEVEn Energy s.r.o.: *VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ PRO MĚSTA A OBCE, MANUÁL PRO PRACOVNÍKY MÍSTNÍCH SAMOSPRÁV* [online]. Praha 2010.
<http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2011/manual-verejneho-osvetleni.pdf>
- [9] Pracovní skupina SRVO pro spolupráci s městy a státní správou, Jiří Tesař a členové SRVO: *Jak projektovat veřejné osvětlení* [online]. Praha 2005.
<http://www.artmetal-cz.com/p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/publikace/Jak%20projektovat%20VO-2005.pdf>
- [10] Ing. Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – nízkotlaké sodíkové výbojky* [online]. S Lamp s. r. o. Panenské Břežany 2009.

- <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-nizkotlake-sodikove-vybojky--15758>
- [11] Ing. Vladimír Dvořáček: *Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky* [online]. S Lamp s. r. o. Panenské Břežany 2009.
- <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-vysokotlake-sodikove-vybojky--15603>
- [12] Světloblog: *Profesionální světelné zdroje* [online]. 2017.
- <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=profesionalni-svetelne-zdroje>
- [13] K. SOKANSKÝ a kolektiv: *METODICKÉ POKYNY PRO OBNOVU, PROVOZ A ÚDRŽBU VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ* [online]. Ostrava 2008.
- <http://www.kr-kralovehradecky.cz/assets/rozvoj-kraje/uzemni-planovani/Prirucka.pdf>
- [14] *Základní technické a kvalitativní předpisy – veřejné osvětlení* [online]. Ostrava 2014.
- http://www.okas.cz/userfiles/vo/Popis_a_pozadavky_VO.pdf
- [15] Deloitte.: *Posúdenie súčasného stavu verejného osvetlenia* [online]. Bratislava 2018.
- <https://bratislava.blob.core.windows.net/media/Default/Dokumenty/Str%C3%A1nky/verejne%20osvetlenie.pdf>
- [16] SEVEn Energy s.r.o.: *SVĚTELNÉ ZDROJE A SVÍTIDLA PRO VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ* [online]. Praha 2012.
- <http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2012/Svetelne-zdroje-a-svitidla-ve-VO.pdf>
- [17] ČSN CEN TR 13201-1 *Osvětlení pozemních komunikací –Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení*
- [18] ČSN EN 13201-2 *Osvětlení pozemních komunikací –Část 2: Požadavky*
- [19] ČSN EN 13201-3 *Osvětlení pozemních komunikací –Část 3: Výpočet*
- [20] ČSN EN 13201-4 *Osvětlení pozemních komunikací –Část 4: Metody měření*
- [21] ČSN EN 13201-5 *Osvětlení pozemních komunikací –Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti*
- [22] iLumin System Commissioning Training: *Introduction to Dimming Concepts* [online]. 2017.
- <http://mzltg.com/wp-content/uploads/2015/07/dimming-technologies.pdf>
- [23] PETAN: *Přehled, výhody, nevýhody a zapojení výbojek* [online]. 2012.
- <https://www.mylms.cz/text-prehled-vybojek/>

- [24] David Cooper: *LED lighting must work with legacy dimming technologies (MAGAZINE)* [online]. 2011.
<https://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-8/issue-6/features/led-lighting-must-work-with-legacy-dimming-technologies-magazine.html>
- [25] AEG PS white paper *Led dimming* [online]. 2011.
https://www.aegps.com/uploads/tx_sbdownloader/AEG_PS_white_paper_Led_dimming_nov2011_DC_format_.pdf
- [26] Wikipedia contributors. (2018, November 17). *0-10 V lighting control* [online]. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 20:24, April 15, 2019,
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=0-10_V_lighting_control&oldid=869299077
- [27] Wikipedia contributors. (2019, February 2). *Digital Addressable Lighting Interface* [online]. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 20:27, April 15, 2019,
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Digital_Addressable_Lighting_Interface&oldid=881490910
- [28] Sikder, Amit Kumar & Acar, Abbas & Aksu, Hidayet & Uluagac, Selcuk: *IoT-enabled Smart Lighting Systems for Smart Cities* [online]. 2018. 10.1109/CCWC.2018.8301744.
https://www.researchgate.net/publication/323560518_IoT-enabled_Smart_Lighting_Systems_for_Smart_Cities
- [29] Arup. Rebecca Chau, Matthew Dunn, Tim Hunt, Matt Low: *Public Lighting Group. Smart Lighting Feasibility Study* [online]. 2017.
https://www.localgovernment.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0015/110814/Public-Lighting-Group-Arup-Smart-Lighting-Feasibility-Study-August-2017.pdf
- [30] StouchLighting: *Lighting Comparison: LED vs High Pressure Sodium (HPS) and Low Pressure Sodium (LPS)* [online]. 2018.
<https://www.stouchlighting.com/blog/led-vs-hps-lps-high-and-low-pressure-sodium>
- [31] Bc. Dominik Schittenhelm: *NÁVRH VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ OBCE* [online]. 2016. DIPLOMOVÁ PRÁCE, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=125480
- [32] Bernd Schäppi. Thomas Bogner: *Směrnice pro veřejné zakázky a návrh veřejného osvětlení* [online]. 2017
http://www.premiumlight.cz/fileadmin/cz/pdf/CS_outdoor-cs-guidelines.pdf
- [33] Lighting Division, Highways Department, Hong Kong: *PUBLIC LIGHTING DESIGN MANUAL* [online]. 2016.

https://www.hyd.gov.hk/en/publications_and_publicity/publications/technical_document/public_lighting_design_manual/doc/PLDM_2016.pdf

- [34] Česká společnost pro osvětlování, Regionální skupina Ostrava: Kurz osvětlovací techniky XXXIV Část 1. 2018 HOTEL DLOUHÉ STRÁNĚ, Loučná nad Desnou. ISBN 978-80-248-4221-9
- [35] Česká společnost pro osvětlování, Regionální skupina Ostrava: Kurz osvětlovací techniky XXXIV Část 2. 2018 HOTEL DLOUHÉ STRÁNĚ, Loučná nad Desnou. ISBN 978-80-248-4221-9
- [36] Jan Baroš : Senzorický systém na bázi virtuálníinstrumentace. 2018. Diplomová práce, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství.
- [37] Petr Šebesta: Ověření relací mezi výpočetními a měřicími metodami ve veřejném osvětlení. 2018. Diplomová práce, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky.
- [38] Protokol MQTT: komunikační standard pro IoT [online]. 2016
<https://www.root.cz/clanky/protokol-mqtt-komunikacni-standard-pro-iot/>
- [39] Antonín Vojáček: IoT MQTT prakticky v automatizaci - 1.díl - úvod [online]. 2017
<https://automatizace.hw.cz/iot-mqtt-prakticky-v-automatizaci-1-dil-uvod.html>
- [40] Datasheet: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/compactdaq-chassis.pdf>
- [41] Datasheet: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/compactdaq-chassis.pdf>
- [42] Datasheet: http://www.ni.com/pdf/manuals/374188a_02.pdf
- [43] Datasheet: <http://www.32dev.com/produkty/proudovy-prevodnik/>
- [44] Datasheet: <http://www.32dev.com/produkty/napetovy-prevodnik/>
- [45] Datasheet: http://www.foxtron.cz/images/ke_stazeni/DALIpwr%20Datasheet.pdf
- [46] Datasheet: <http://www.foxtron.cz/home/bus/dali/dalinet-detail?lang=en>
- [47] Datasheet: [https://i.mt.lv/cdn/rb_files/hAP_ac\(7\)-160301122418.pdf](https://i.mt.lv/cdn/rb_files/hAP_ac(7)-160301122418.pdf)
- [48] Datasheet: <https://www.czech-meanwell.cz/fotky10575/fotov/EDR-120.pdf>
- [49] Datasheet: <http://www.mikrovlny.cz/cz/produkt/57>
- [50] Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences: Impact of large-scale installation of LED lamps in a distribution system [online]. 2015
<http://dergipark.gov.tr/download/article-file/126297>